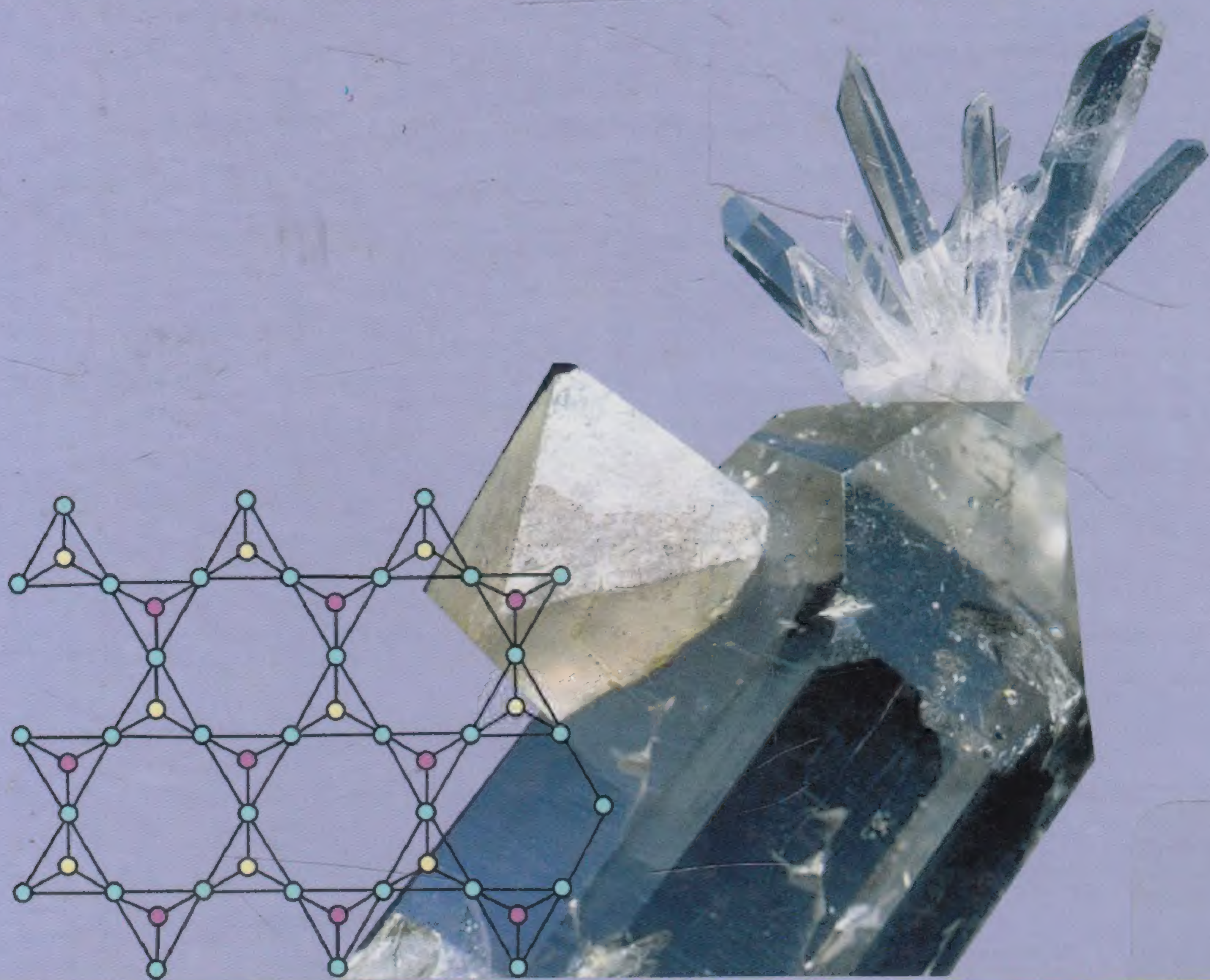


علم المعادن

المجلد الثاني

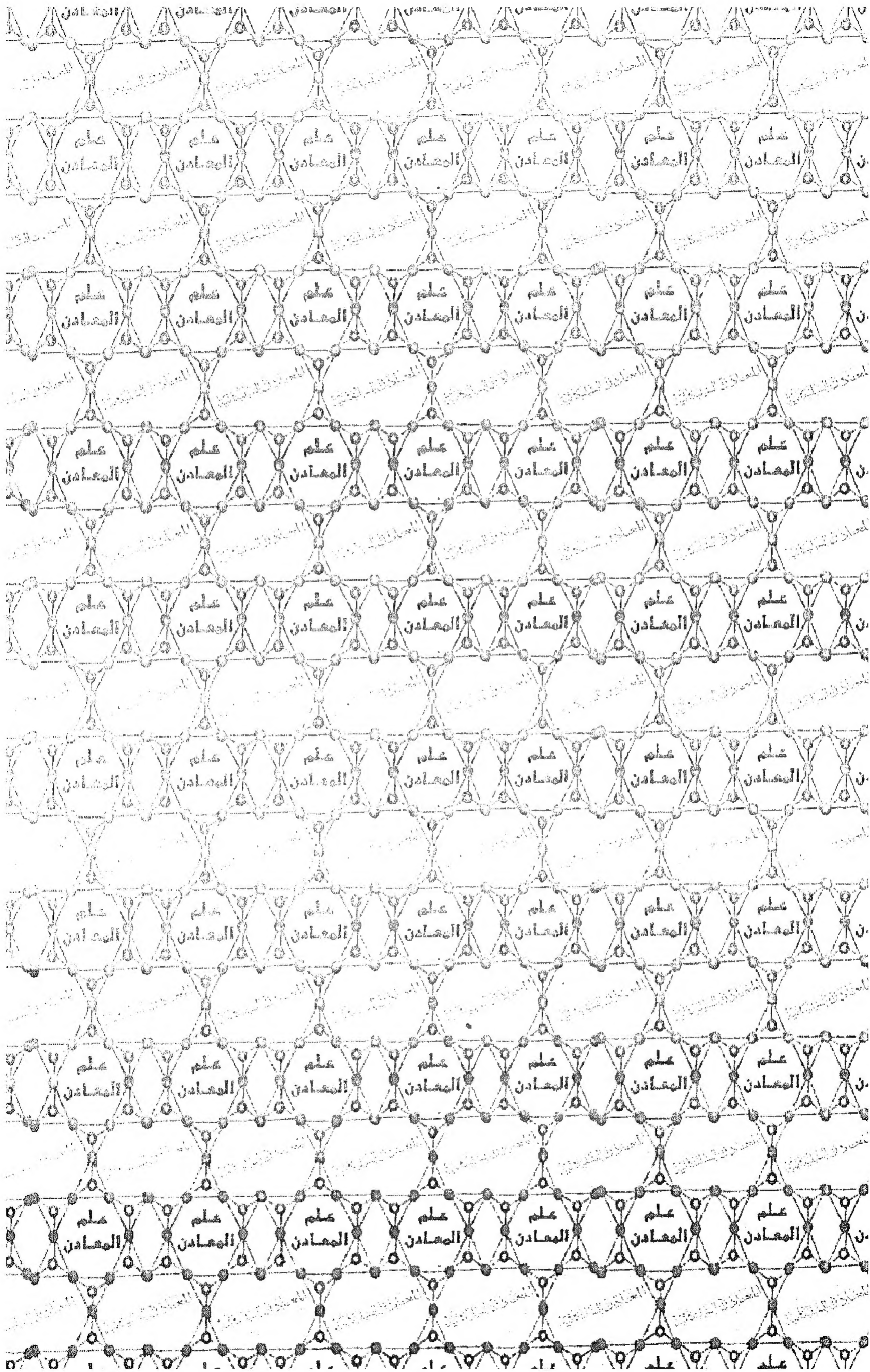
المعادن في السيليكاتية

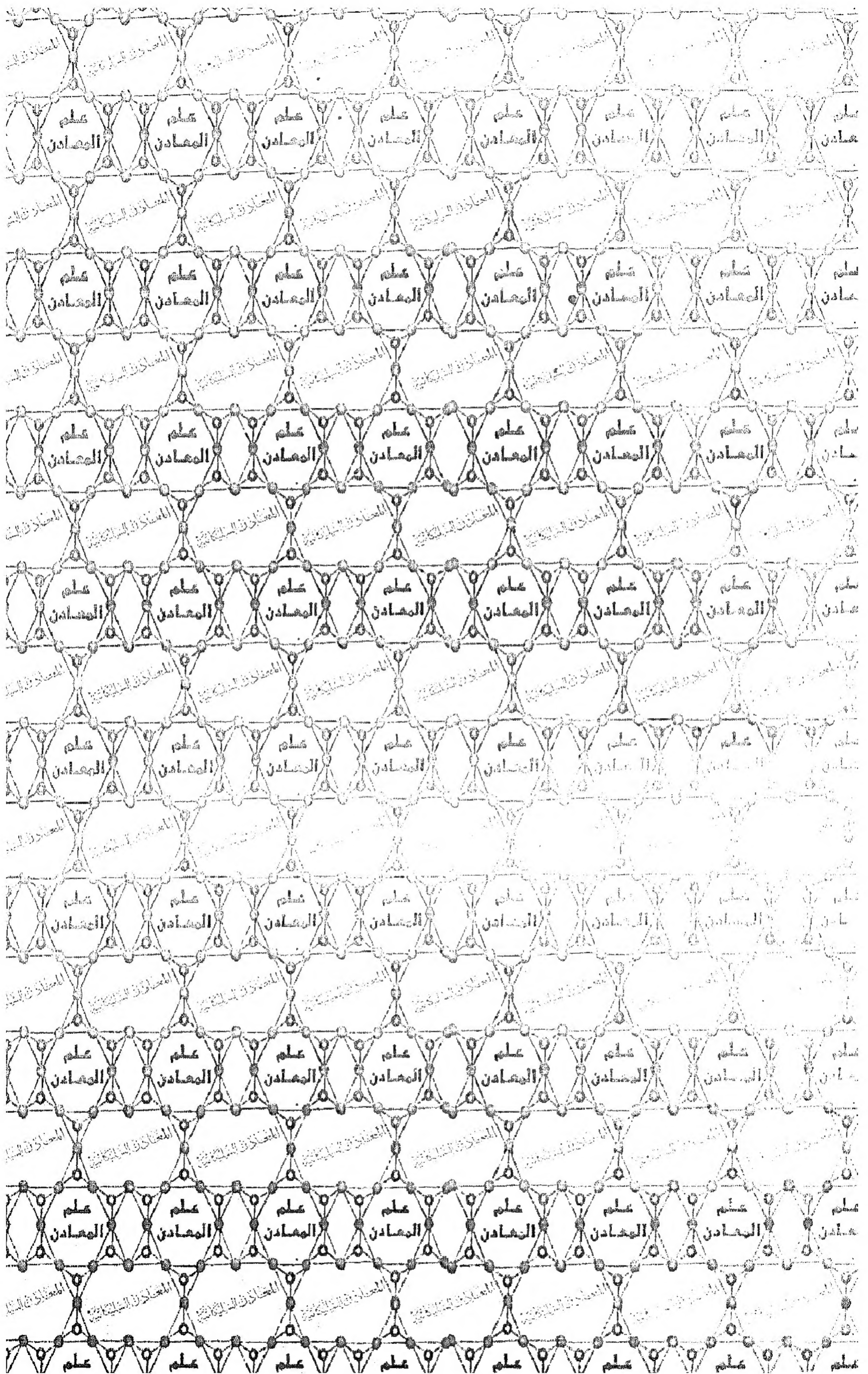


د. عصم بن يحيى الفندوي
كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

د. حمدي حماد عبد النبي
كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

د. يحيى حسن دارو
كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز





علم المعادن

المجلد الثاني

المعادن السيليكاية

د. عصم بن يحيى الفندوي

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

د. محمد حامد عبد النبي

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

د. يحيى حسن داور

كلية علوم الأرض - جامعة الملك عبد العزيز

بطاقة فهرسة

فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة المصرية العامة لدار الكتب والوثائق
القومية ، إدارة الشؤون الفنية .

عبد النبى ، حمدى حامد .

علم المعادن : المجلد ثانى المعادن السياليكاثية

تأليف : حمدى حامد عبد النبى . - ط 1 . -

القاهرة : مكتبة الانجلو المصرية ، 2008 .

423 ص ، 17 × 24 سم .

1- المعادن

أ - الفيلالى ، عصام (مؤلف مشترك)

ب- داود ، يحيى حسن (مؤلف مشترك) ج - العنوان

رقم الإيداع : 14434

ردمك : 977-05-2565-0 تصنيف ديوى : 549

المطبعة : المطبعة التجارية الحديثة

الناشر : مكتبة الانجلو المصرية

165 شارع محمد فريد

القاهرة - جمهورية مصر العربية

ت : 23914337 (202) ؛ ف : 23957643 (202)

E-mail : angloebs@anglo-egyptian.com

Website : www.anglo-egyptian.com

شكر وتقدير

يتوجه فريق العمل بخالص الشكر والتقدير لجامعة الملك عبد العزيز ممثلة في معهد البحوث والإستشارات لدعمه المادي في تأليف هذا الكتاب من خلال البحث رقم (٢٠٤ / ٤٢٦) وممثلة أيضاً في كلية علوم الأرض لتوفيرها الإمكانيات المعملية اللازمة.

بسم الله الرحمن الرحيم

إن الحمد لله نحمده ونستعينه ونستعديه ونستغفره ونصلي ونسلم على سيدنا
ونبيينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

"سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم الحكيم"، وبعد

لقد نشأت فكرة هذا الكتاب منذ عدة سنوات، وكان الدافع لذلك خلو المكتبة
العربية من مثل هذا النوع من الكتب، حيث تهتم الغالبية العظمى من الكتب في
هذا المجال بتقديم أساسيات علم المعادن دون الخوض في تفاصيل مجموعات
المعادن المختلفة مثل مجموعة المعادن السيليكاوية. ولدراسة مجموعة المعادن
السيليكاوية أهمية خاصة حيث تشكل حوالي ٩٠ % من المعادن المكونة للقشرة
الأرضية. كما أن لهذه المعادن دور بارز في مجالات متعددة بالصناعة حيث
تستخدم كمواد خام لكثير من الصناعات. كما أن الدراسات والأدبيات الحديثة
وتكنولوجيا المعلومات تعتبر دوافع أخرى هامة ووسائل جيدة تثري مالدينا
من معلومات جديدة بأن تكون في كتاب باللغة العربية يلبي الحاجة الشديدة
لدارسي علوم الأرض والعاملين في مجالات التنقيب عن الثروات المعدنية
ومعالجة الخامات وتركيزها وإستخلاص ذو القيمة الإقتصادية منها.

وقد أخذ في الإعتبار أثناء تأليف هذا الكتاب سهولة الإسلوب وتسلسل
الأفكار مع الإستعانة بكثير من الصور الملونة والأشكال التوضيحية ثلاثية
الأبعاد حتى تساعد الطالب والباحث في علم المعادن السيليكاوية على الفهم
وسرعة الإدراك مما يجعل هذا الكتاب من حيث مستواه مرجعاً مفيداً للمهتمين
بهذا المجال في الدول العربية مع الإبقاء على المصطلحات الأجنبية بجانب
المصطلحات العربية حتى يتيسر على الطالب الرجوع إلى الكتب الأجنبية وقت
الحاجة. وندعو الله سبحانه وتعالى أن ينفع به أبناء المسلمين وأن يجعله
مرجعاً يساهم في بداية إنطلاق البحث عن الثروات المعدنية بالعالم العربي
والتي لا زالت في حاجة إلى الكثير للتعرف عليها.

يحتوي الباب الأول على تعريف عام بعلم المعادن والتصنيف الكيميائي للمعادن في صورة مبسطة يسهل بعدها متابعة الأبواب التالية. تتناول الأبواب الستة الباقية الأنواع المختلفة من مجاميع المعادن السيليكاتية وهي المعادن السيليكاتية المنفردة (النيزوسيليكات)، المعادن السيليكاتية المزدوجة (السوروسيليكات)، المعادن السيليكاتية الحلقية (السينكلوسيليكات)، المعادن السيليكاتية السلسلية (الإينوسيليكات)، المعادن السيليكاتية الصفائحية (الفيللوسيليكات) والمعادن السيليكاتية الشبكية (التكتوسيليكات). يتناول كل باب المعادن الممثلة لكل مجموعة متضمنة: اسم المعدن، الصيغة الكيميائية، البنية البلورية، كيميائية المعدن، صفاته الفيزيائية والبصرية، تواجد المعدن بالصخور والبيئات المختلفة والمعادن المصاحبة، بالإضافة إلى إستخداماته.

والله ولي التوفيق

المؤلفون

مارس ٢٠٠٨

المحتويات

الصفحة

١	فكرة عامة	الباب الأول
٢	ما المقصود بكلمة "معدن"؟	
٣	ما المقصود بعلم المعادن؟	
٣	كيف يتكون المعدن؟	
٥	ما هي العلاقة بين المعادن والكيمياء؟	
٧	التصنيف العام للمعادن	
١٥	المعادن السيليكاتية المنفردة	الباب الثاني
١٥	مجموعة الأوليفين	
١٥	فورستيريت وفياليت	
١٦	البنية البلورية	
١٧	كيميائية المعدن	
١٩	الصفات الفيزيائية والبصرية	
٢٠	التواجدات والصحبة المعدنية	
٢٢	الاستخدامات	
٢٢	مجموعة الجارنت	
٢٢	البنية البلورية	
٢٣	كيميائية المعدن	
٢٤	النطاقية بالجارنت	
٢٦	الصفات الفيزيائية والبصرية	
٢٨	التواجدات والصحبة المعدنية	
٢٩	الاستخدامات	
٣٠	معادن سيليكات الألومنيوم	
٣١	البنية البلورية	
٣٢	الأندلسيت	
٣٢	الصفات البلورية	
٣٤	الصفات الفيزيائية والبصرية	
٣٥	التواجدات والصحبة المعدنية	
٣٦	الاستخدامات	
٣٦	الكينائيت	

٣٦	الصفات البلورية
٣٧	الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٧	التواجدات والصحة المعدنية
٣٨	الاستخدامات
٣٩	السيلينيوم
٣٩	الصفات البلورية
٣٩	الصفات الفيزيائية والبصرية
٤٠	التواجدات والصحة المعدنية
٤١	الاستخدامات
٤١	الزركون
٤١	البنية البلورية
٤٢	كيميائية المعدن
٤٤	الصفات الفيزيائية والبصرية
٤٦	التواجدات والصحة المعدنية
٤٦	الاستخدامات
٤٧	الستوروليت
٤٧	البنية البلورية
٤٨	كيميائية المعدن
٥٠	الصفات الفيزيائية والبصرية
٥١	التواجدات والصحة المعدنية
٥١	الكلوريتويد
٥١	البنية البلورية
٥٢	كيميائية المعدن
٥٥	الصفات الفيزيائية والبصرية
٥٥	التواجدات والصحة المعدنية
٥٥	الإستخدامات
٥٦	التيثايت
٥٦	البنية البلورية
٥٨	كيميائية المعدن
٥٨	الصفات الفيزيائية والبصرية
٥٨	التواجدات والصحة المعدنية
٦٠	الاستخدامات

الباب الثالث	المعادن السليكاتية المزدوجة	٦١
	مجموعة الإبيدوت	٦٢
	الإبيدوت	٦٥
	البنية البلورية	٦٦
	كيميائية المعدن	٦٧
	الصفات الفيزيائية والبصرية	٧٠
	التواجدات والصحبة المعدنية	٧٦
	الاستخدامات	٧٨
	الزوسيت	٧٩
	البنية البلورية	٧٩
	كيميائية المعدن	٨٠
	الصفات الفيزيائية والبصرية	٨١
	التواجدات والصحبة المعدنية	٨٢
	الاستخدامات	٨٣
	الالانيت	٨٤
	البنية البلورية	٨٤
	كيميائية المعدن	٨٥
	الصفات الفيزيائية والبصرية	٨٨
	التواجدات والصحبة المعدنية	٩١
	الاستخدامات	٩١
	الفيزيوفانييت	٩٢
	البنية البلورية	٩٢
	كيميائية المعدن	٩٣
	الصفات الفيزيائية والبصرية	٩٥
	التواجدات والصحبة المعدنية	٩٧
	الإلفيت	٩٧
	البنية البلورية	٩٧
	كيميائية المعدن	٩٩
	الصفات الفيزيائية والبصرية	١٠٠
	التواجدات والصحبة المعدنية	١٠١

الباب الرابع	المعادن السيليكاتية الحلقية	١٠٣
	التورمالين	١٠٤
	البنية البلورية	١١٠
	كيميائية المعدن	١١٥
	الصفات الفيزيائية والبصرية	١٢٠
	التواجدات والصحة المعدنية	١٢٤
	الاستخدامات	١٢٧
	البيريل	١٢٧
	البنية البلورية	١٢٨
	كيميائية المعدن	١٣١
	الصفات الفيزيائية والبصرية	١٣٦
	التواجدات والصحة المعدنية	١٤٠
	الاستخدامات	١٤١
	الكورديريت	١٤١
	البنية البلورية	١٤١
	كيميائية المعدن	١٤٧
	الصفات الفيزيائية والبصرية	١٤٩
	التواجدات والصحة المعدنية	١٥٠
	الاستخدامات	١٥١
	الأكسينيت	١٥١
	البنية البلورية	١٥٢
	كيميائية المعدن	١٥٣
	الصفات الفيزيائية والبصرية	١٥٦
	التواجدات والصحة المعدنية	١٥٦
الباب الخامس	المعادن السيليكاتية السلسلية	١٥٩
	مجموعة البيروكسين	١٥٩
	البنية البلورية	١٦٠
	كيميائية معادن البيروكسين وتصنيفها	١٦٢
	الصفات الفيزيائية والبصرية	١٧٢
	التواجدات والصحة المعدنية	١٧٤
	الإستاتيت	١٧٥

الصفات البلورية	١٧٦
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٧٦
التواجدات والصحة المعدنية	١٧٧
الاستخدامات	١٧٨
البيجونيت	١٧٨
الصفات البلورية	١٧٨
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٧٨
التواجدات والصحة المعدنية	١٧٩
ديوبسيد	١٨٠
الصفات البلورية	١٨٠
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٨٠
التواجدات والصحة المعدنية	١٨٢
الاستخدامات	١٨٣
الإيجيرين	١٨٣
الصفات البلورية	١٨٣
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٨٤
التواجدات والصحة المعدنية	١٨٥
الأوجيت	١٨٦
الصفات البلورية	١٨٦
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٨٧
التواجدات والصحة المعدنية	١٨٨
مجموعة البيروكسينويد	١٨٩
الولاستونيت	١٩٠
الصفات البلورية	١٩٠
كيميائية المعدن	١٩١
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٩١
التواجدات والصحة المعدنية	١٩٢
الاستخدامات	١٩٣
الرودونيت	١٩٣
الصفات البلورية	١٩٣
كيميائية المعدن	١٩٤
الصفات الفيزيائية والبصرية	١٩٤

١٩٥	التواجدات والصحة المعدنية
١٩٦	الاستخدامات
١٩٦	البيكتوليت
١٩٦	الصفات البلورية
١٩٦	كيميائية المعدن
١٩٧	الصفات الفيزيائية والبصرية
١٩٨	التواجدات والصحة المعدنية
١٩٨	مجموعة الأمفيبول
١٩٩	البنية البلورية
٢٠١	تصنيف معادن الأمفيبول
٢٠٨	كيميائية معادن الأمفيبول
٢١١	الأنثوفيليت
٢١١	الصفات البلورية
٢١٢	كيميائية المعدن
٢١٣	الصفات الفيزيائية والبصرية
٢١٤	التواجدات والصحة المعدنية
٢١٤	الاستخدامات
٢١٤	كمينجتونيت
٢١٤	الصفات البلورية
٢١٥	كيميائية المعدن
٢١٦	الصفات الفيزيائية والبصرية
٢١٦	التواجدات والصحة المعدنية
٢١٧	الاستخدامات
٢١٨	التريموليت
٢١٨	الصفات البلورية
٢١٨	كيميائية المعدن
٢١٩	الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٢٠	التواجدات والصحة المعدنية
٢٢٢	الاستخدامات
٢٢٢	الأكتينوليت
٢٢٢	الصفات البلورية
٢٢٢	كيميائية المعدن

٢٢٣	الصفات الفيزيائية والبصرية.....
٢٢٤	التواجدات والصحبة المعدنية.....
٢٢٥	الاستخدامات.....
٢٢٥	جلوكوفان.....
٢٢٥	الصفات البلورية.....
٢٢٥	كيميائية المعدن.....
٢٢٦	الصفات الفيزيائية والبصرية.....
٢٢٧	التواجدات والصحبة المعدنية.....
٢٢٨	الهورنبلند.....
٢٢٩	الصفات البلورية.....
٢٣٠	كيميائية المعدن.....
٢٣١	الصفات الفيزيائية والبصرية.....
٢٣٢	التواجدات والصحبة المعدنية.....
٢٣٣	الاستخدامات.....

٢٣٥	الفيلوسليكات (السليكات الصفاحية).....
٢٤٠	مجموعة التلك والبيروفيليت.....
٢٤٠	التلك.....
٢٤١	البنية البلورية.....
٢٤٢	كيميائية المعدن.....
٢٤٤	الصفات الفيزيائية والبصرية.....
٢٤٥	التواجدات والصحبة المعدنية.....
٢٤٦	الاستخدامات.....
٢٤٧	البيروفيليت.....
٢٤٧	البنية البلورية.....
٢٤٨	كيميائية المعدن.....
٢٤٩	الصفات الفيزيائية والبصرية.....
٢٥٠	التواجدات والصحبة المعدنية.....
٢٥١	الاستخدامات.....
٢٥١	مجموعة الميكا.....
٢٥٥	المسكوفيت.....
٢٥٥	البنية البلورية.....

٢٥٦	..... كيميائية المعدن
٢٥٦	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٥٨	..... التواجدات والصحة المعدنية
٢٥٩	..... الاستخدامات
٢٥٩	..... الجلوكونيت
٢٥٩	..... البنية البلورية
٢٦٠	..... كيميائية المعدن
٢٦١	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٦١	..... التواجدات والصحة المعدنية
٢٦٢	..... الاستخدامات
٢٦٢	..... المارجريت
٢٦٣	..... البنية البلورية
٢٦٣	..... كيميائية المعدن
٢٦٣	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٦٤	..... التواجدات والصحة المعدنية
٢٦٥	..... الاستخدامات
٢٦٥	..... تحت مجموعة الثلاثي الثماني
٢٦٥	..... البيوتيت
٢٦٥	..... البنية البلورية
٢٦٦	..... كيميائية المعدن
٢٦٦	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٦٨	..... التواجدات والصحة المعدنية
٢٦٩	..... الاستخدامات
٢٦٩	..... الليبيدوليت
٢٦٩	..... البنية البلورية
٢٧٠	..... كيميائية المعدن
٢٧٢	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٧٣	..... التواجدات والصحة المعدنية
٢٧٣	..... الاستخدامات
٢٧٤	..... الفلوجوبيت
٢٧٤	..... البنية البلورية
٢٧٥	..... كيميائية المعدن

٢٧٧	الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٧٨	التواجدات والصحبة المعدنية
٢٧٨	الاستخدامات
٢٧٩	مجموعة الكلوريت
٢٧٩	الكلوريت
٢٧٩	البنية البلورية
٢٨١	كيميائية المعدن
٢٨٤	الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٨٥	التواجدات والصحبة المعدنية
٢٨٦	مجموعة السربنتين
٢٨٧	البنية البلورية
٢٨٨	كيميائية المعدن
٢٩٠	الصفات الفيزيائية والبصرية
٢٩١	التواجدات والصحبة المعدنية
٢٩١	الاستخدامات
٢٩٢	المعادن الطينية
٢٩٣	الكاولينيت
٢٩٤	البنية البلورية
٢٩٧	كيميائية المعدن
٢٩٩	الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٠٠	التواجدات والصحبة المعدنية
٣٠١	الاستخدامات
٣٠٢	مجموعة الإليت
٣٠٢	البنية البلورية
٣٠٣	كيميائية المعدن
٣٠٤	الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٠٥	التواجدات والصحبة المعدنية
٣٠٦	المونتموريللونيت (السكتيت)
٣٠٧	البنية البلورية
٣٠٩	كيميائية المعدن
٣١١	الصفات الفيزيائية والبصرية
٣١٢	التواجدات والصحبة المعدنية

٣١٣	..... الاستخدامات
٣١٤	..... الفيرميكيوليت
٣١٤	..... البنية البلورية
٣١٥	..... كيميائية المعدن
٣١٧	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣١٨	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣١٩	..... الاستخدامات

الباب السابع

٣٢١	..... المعادن السيليكاتية الشبكية
٣٢١	..... معادن مجموعة السيليكات
٣٢٤	..... الكوارتز
٣٢٤	..... البنية البلورية
٣٢٦	..... كيميائية المعدن
٣٢٦	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٢٩	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣٣٠	..... الاستخدامات
٣٣٠	..... التريديميت
٣٣١	..... البنية البلورية
٣٣٢	..... كيميائية المعدن
٣٣٢	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٣٣	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣٣٤	..... الاستخدامات
٣٣٤	..... الكريستوباليت
٣٣٤	..... البنية البلورية
٣٣٥	..... كيميائية المعدن
٣٣٦	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٣٦	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣٣٦	..... الاستخدامات
٣٣٦	..... مجموعة الفل بار
٣٣٨	..... البنية البلورية
	ترتيب وعدم ترتيب الألومنيوم والسيليكون
٣٤١	..... بالفلسبار

٣٤٣	..... كيميائية المعدن
٣٤٧	..... ظاهرة انفصال المحلول في الفلسبار
٣٤٨	..... النمو المشترك للفلسبار
٣٥١	..... توأمية الفلسبار
٣٥٣	..... البلاجيوكليز
٣٥٤	..... الصفات البلورية
٣٥٤	..... كيميائية المعدن
٣٥٦	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٥٧	..... قياس تركيب البلاجيوكليز
٣٦٠	..... التواجدات والصحبة المعدنية
٣٦١	..... الاستخدامات
٣٦١	..... أرثوكليز
٣٦٢	..... الصفات البلورية
٣٦٢	..... كيميائية المعدن
٣٦٣	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٦٣	..... التواجدات والصحبة المعدنية
٣٦٤	..... الاستخدامات
٣٦٤	..... الميكروكلين
٣٦٤	..... الصفات البلورية
٣٦٥	..... كيميائية المعدن
٣٦٥	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٦٦	..... التواجدات والصحبة المعدنية
٣٦٧	..... الاستخدامات
٣٦٧	..... الساتيدين
٣٦٧	..... الصفات البلورية
٣٦٧	..... كيميائية المعدن
٣٦٨	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٦٩	..... التواجدات والصحبة المعدنية
٣٧٠	..... الاستخدامات
٣٧٠	..... مجموعة معادن الفلسباتويد
٣٧٢	..... النيفيلين
٣٧٢	..... البنية البلورية

٣٧٣	..... كيميائية المعدن
٣٧٤	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٧٦	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣٧٦	..... الاستخدامات
٣٧٦	..... الثوسيت
٣٧٦	..... البنية البلورية
٣٧٧	..... كيميائية المعدن
٣٧٨	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٧٨	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣٧٩	..... الاستخدامات
٣٧٩	..... صوداليت
٣٧٩	..... البنية البلورية
٣٨٠	..... كيميائية المعدن
٣٨١	..... الصفات الفيزيائية والبصرية
٣٨١	..... التواجدات والصحة المعدنية
٣٨١	..... الاستخدامات
٣٨١	..... مجموعة الزيوليت
٣٨٢	..... البنية البلورية
٣٨٣	..... تصنيف الزيوليت
٣٨٤	..... كيميائية المعدن
٣٨٦	..... الصفات الفيزيائية لبعض معادن الزيوليت
٣٨٦	..... ناتروليت
٣٨٧	..... شابازيت
٣٨٧	..... أنالسيم
٣٨٨	..... ستيلبيت
٣٨٩	..... هيولانديت
٣٩٠	..... لاومونتيت
٣٩٠	..... التواجدات والصحة المعدنية لمعادن الزيوليت
٣٩١	..... الاستخدامات
٣٩٣	..... المراجع
٤١٩	..... دليل المعادن
٤٢١	..... قائمة إختصارات المعادن

قائمة الأشكال

الرقم	رقم الصفحة
١-١	٤
٢-١	٥
٣-١	٦
٤-١	٧
٥-١	٨
٦-١	٩
٧-١	١٢
٨-١	١٢
٩-١	١٣
١٠-١	١٤
١١-١	١٤
١-٢	١٦
٢-٢	١٧
٣-٢	١٩

٢-٤	(أ) بلورتان من الفورستريت أخضر اللون ، باكستان (٢x٣x٣ سم). (ب) بلورة من الفياليت ذات لون بني على معدن الكريستوباليت من كاليفورنيا. (ج) فورستريت شفاف من جزيرة الزبرجد بالبحر الأحمر، مصر (١,٢x١,٢x١,٣ سم). (د) ألوان التداخل من الرتبة الثانية إلى الثالثة والمميزة لمعادن الأوليفين.....	٢٠
٢-٥	تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية بتغير النسبة الجزيئية للفورستريت بسلسلة الفورستريت-الفياليت.....	٢١
٢-٦	البنية البلورية لمعادن الجارنت.....	٢٣
٢-٧	(أ) بلورة من الجارنت تظهر نطاقية لعنصر الكالسيوم (مساحة الصورة = ٢,٤٨ مم ^٢). (ب) بلورة من الجارنت تظهر نطاقية لعنصر الماغنسيوم (مساحة الصورة = ٤,٠٩٦ مم ^٢).....	٢٦
٢-٨	(أ) بلورتين من الألماندين البني المحمر من منجم فاني جورجى Fanny Gorge، الولايات المتحدة الأمريكية. (ب) جروسيلار وردي اللون. (ج) سباستين بني اللون. (د) بلورة بيروب شفافة وذات لون أحمر غامق من منطقة جوفيرنادور فالاداريس Governor Valadares. (هـ) يوفاروفيت أخضر اللون من منجم سارانوفيسكي Saranovskii Mine، روسيا. (و) أندرايت أصفر ذهبي من منجم ستانلي باتي، أريزونا Stanley Butte, Arizona.....	٢٧
٢-٩	بيرفيروبلاست من الجارنت بصخور الشيست الميكائي بمنطقة وادي نجرس، الصحراء الشرقية، مصر. (أ) تحت الضوء المستقطب، (ب) تحت منشوري نيكول.....	٢٨
٢-١٠	(أب) أبعاد خلايا الوحدة والوزن النوعي ومعاملات الانكسار للجارنت والتي يمكن من خلالها معرفة تركيبه ونوعه.....	٢٩
٢-١١	مخطط الضغط والحرارة لمعادن سيليكات الألومنيوم.....	٣٠
٢-١٢	البنية البلورية لمعادن سيليكات الألومنيوم.....	٣٢
٢-١٣	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الأندلوسيت، كما يظهر في الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.....	٣٢

- ١٤-٢ (أ) أندلوسيت محمر اللون بعرق كوارتز بمنطقة حمادان، إيران (سباهي وآخرون ٢٠٠٤ Sepahi et al.). (ب) كياستوليت Chialstolite (نوع من الأندلوسيت) يحتوى على شوائب كربونية سوداء اللون مرتبة على هيئة صليب. (ج) أندلوسيت تحت الضوء المستقطب يحتوى على مكثفات من معادن معتمة. (د) أندلوسيت بالصورة "ج" تحت منشوري نيكول..... ٣٤
- ١٥-٢ (أ) حجر كريم من الأندلوسيت (٦x٨ مم) مستخرج من الهند. تظهر العينة عرضاً للألوان من البرتقالي إلى الأخضر حسب الإضاءة وتوجيه العينة. (ب) حجر كريم من الأندلوسيت (٨x١٠ مم) المستخرج من البرازيل. تظهر العينة عرضاً للألوان من البرتقالي المحمر إلى الأخضر حسب الإضاءة وتوجيه العينة..... ٣٥
- ١٦-٢ العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الكيانيت. كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA..... ٣٦
- ١٧-٢ (أ) بلورات على هيئة نصلية من الكيانيت. (ب) بلورات زرقاء اللون للكيانيت مع مسكوفيت فضي اللون. (ج) صورة ميكروسكوبية تحت الضوء المستقطب لإثنين من البيرفيروبلاست للكيانيت مع صحبة من البيوتيت والمسكوفيت بصخور الميتابليت من مقاطعة جرينفيل Grenville Province، لاحظ الهيئة كاملة الأوجه والتضاريس العالية والانقسام بالبيرفيروبلاست السفلى. (د) صورة ميكروسكوبية للكيانيت تحت منشوري نيكول بصخور الشيست المسكوفيتي من منطقة سوليتود رينج Solitude Range..... ٣٨
- ١٨-٢ العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن السيليمنيت كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA..... ٣٩
- ١٩-٢ (أ) سيليمنيت بني اللون. (ب) سيليمنيت أبيض اللون. (ج) سيليمنيت على هيئة ليفية (فيبروليت) بالضوء المستقطب (x٢٠٠). (د) صورة ميكروسكوبية بالضوء المستقطب لبلورات منشورية من السيليمنيت فى نمو مشترك مع الأندلوسيت من منطقة حمادان، إيران (سباهي وآخرون ٢٠٠٤)..... ٤٠

٢٠-٢	العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, c ومحاور مجسم معامل	
٤١	الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الزركون.....	
٢١-٢	البنية البلورية للزركون.....	٤٢
٢٢-٢	هالة متغيرة الألوان حول الزركون المتواجد كمكتنفات بالبيوتيت	
٤٤	بصخور الطف بمنطقة فيش كانيون Fish Canyon	
٢٣-٢	(صور بالوميض الكاسودي توضح النطاقية بمعدن الزركون (أ) من الصخور الجرانيتية بمنطقة أم أراء، جنوب الصحراء الشرقية، مصر. (ب) من الرمال السوداء بمنطقة رشيد، مصر.....	٤٥
٢٤-٢	(أ) بلورات بنية اللون من الزركون. (ب) بلورة شفافة ونقية من الزركون على هيئة منشورية منتهية بهرم من منطقة ليشير زيه Laacher See بألمانيا.....	٤٥
٢٥-٢	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الستوروليت. كما يظهر في الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.....	٤٧
٢٦-٢	البنية البلورية للستوروليت.....	٤٨
٢٧-٢	(أ) هيئة توأمية صليبية للستوروليت ($1,5 \times 2,5 \times 3$ سم) بالرخام من كارولينا الشمالية، الولايات المتحدة الأمريكية. (ب) هيئة توأمية على هيئة حرف إكس (X) للستوروليت. (ج) صورة ميكروسكوبية لبلورة كاملة الأوجه للستوروليت وبها مكتنفات من البيوتيت والكوارتز والجارنت من صخور الميتابليت (بالضوء المستقطب). (د) بورفيروبلاستات من الستوروليت أصفر اللون.....	٥٠
٢٨-٢	البنية البلورية للكلوريتويد.....	٥٢
٢٩-٢	منحنيات أحادية التغير للتفاعلات: كلوريتويد \leftrightarrow كورديريت غنى بالحديد + هيرسينيت + بخار، كلوريتويد \leftrightarrow ألماندين + ستوروليت + هيرسينيت + بخار، ستوروليت + ألماندين \leftrightarrow كورديريت غنى بالحديد + هيرسينيت + بخار، كورديريت غنى بالحديد \leftrightarrow مولليت + سائل + بخار.....	٥٤
٣٠-٢	(أ) بلورة من الكلوريتويد تظهر أقصى درجة تغير لوني (بالضوء المستقطب). (ب) نفس البلورة ولكن تحت منشوري نيكول حيث تظهر التوأمية المتعددة والأوان التداخل المميزة	

٥٦	.....	للكلوريتويد. (ج) بلورات من الكلوريتويد خضراء اللون على هيئة نصلية (تحت الضوء المستقطب). (د) الصورة "ج" ولكن تحت منشوري نيكول.....	٣١-٢
٥٧	.....	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن التيتانيت.....	٣٢-٢
٥٧	.....	البنية البلورية للتيتانيت.....	٣٣-٢
٦٠	.....	(أ) بلورات خضراء اللون للتيتانيت مع كوارتز من منجم فازيندا رابين بيمينتا بالبرازيل Fazenda Rubin Pimenta Mine (X ٨) X ٥,٥ X ١,٥ سم) (ب) بلورات توأمية بنية اللون للتيتانيت من منطقة بينتال Binntal بسويسرا.....	١-٣
٦١	.....	ترابط رباعى الأوجه السيليكاتى فى السوروسيليكات Si_2O_7	٢-٣
٦٧	.....	البنية البلورية لمعدن الأبيدوت.....	٣-٣
٧١	.....	صورة فوتوغرافية لبلورات منشورية من معدن الإبيدوت، يظهر الإنقسام موازى لإتجاه الإستطالة. كما تظهر بلورات مصاحبة من معدن الكوارتز، ابعاد العينة ٩X٨ سم. الأسكا. Prince of Wales Island, Alaska.....	٤-٣
٧١	.....	صورة مأخوذة بالميكروسكوب الماسح لبلورة إبيدوت منشوري.....	٥-٣
٧١	.....	بلورة واحدة منشورية من معدن الإبيدوت تظهر تخطيط مميز للمعدن (Sriations). منطقة داكستان بأذربيجان.....	٦-٣
٧١	.....	بلورات منشورية قصيرة من معدن البيستاكييت ذا لون أخضر مميز مترسبة على معدن الأورثوكليز. منطقة ترافيرسيللا بايطاليا.....	٧-٣
٧١	.....	العلاقة ما بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الإبيدوت كما يظهر فى الشكل إتجاه المحوريين البصريين OA.....	٨-٣
٧٢	.....	تجمعات بلورية إبرية حمراء اللون من الليمونيت منطقة منجم شوانينج بجنوب أفريقيا.....	٩-٣
٧٣	.....	بلورات إسطوانية متداخلة ومتجمعة من الكالينوزوسيت على معدن الأورثوكليز. منطقة جيلجيت بباكستان.....	١٠-٣
٧٣	.....	بلورة منشورية بنية اللون من الكالينوزوسيت بأبعاد ١,٢X٢,٣X٧ سم من منطقة الشيورى بباكستان.....	

- ١١-٣ العلاقات الطردية ما بين النسبة الجزيئية (والتي تزيد بزيادة نسبة
إحلال الحديد الثلاثي Fe^{+3} محل الألومنيوم) مع كل من قرينة
الإنكسار المزدوج δ والكثافة D ومعاملات الإنكسار α, β, γ في
معادن الإبيدوت-كلينو زوسيت..... ٧٣
- ١٢-٣ يوضح قطاع في بلورة من معدن الأبيدوت في صخر
الجرانوديوزيت الكلسقولي. تحت الميكروسكوب المستقطب بتكبير
١٠٠ مرة. أ- في وجود المستقطب فقط: المعدن عديم اللون مع
قضائيس عالية والبلورة محاطة ببلورات أخرى من الميكا. ب-
في وجود المستقطب والمحلل: ألوان التداخل من الرتبة الثانية
والثالثة حيث تزداد قرينة الانكسار المزدوج بزيادة تواجد الحديد
الثلاثي..... ٧٥
- ١٣-٣ يبين الحقول المختلفة لبعض المعادن في مجما بازلي من عرف
وسط محيطى بناءً على درجة الحرارة والضغط..... ٧٧
- ١٤-٣ بلورة معيّن قائم لمعدن الزوسيت..... ٧٩
- ١٥-٣ بلورة لمعدن الزوسيت من منجم ميريلاني بتزانيا..... ٨١
- ١٦-٣ كتل غير منتظمة حمراء اللون من معدن الثيولايت Thullite
منغمسة في أرضية من الفلسبار الأبيض. تظهر بعض هذه الكتل
أوجه مستوية. البريق الزجاجي واللون الأحمر أهم ما يميز
الثيولايت في هذه العينة. من منطقة هيدمارك بالنرويج..... ٨٢
- ١٧-٣ الشكل البلوري للألانييت..... ٨٤
- ١٨-٣ تركيزات العناصر الأرضية النادرة بالنسبة للكوندريت في كل من
الألانييت والأباتيت والزركون المفصولة من صخر الفنجيت
إيكولوجيت من دورا ماريا في غرب الألب..... ٨٧
- ١٩-٣ أنواع الألانييت الثلاثة: أ- بلورة منشورية سوداء من السيريوم-
ألانييت بطول ٨,٠ سم متواجدة مع كوارتز. منجم ثيرو إستريللا،
نيو ميكسيكو، أمريكا. ب- بلورة منشورية سوداء من اللانثانم-
ألانييت (٠,٩X٠,٥ سم) موجودة مع بلورات أصغر سوداء من
الماجنييت والخلفية معدن الهيدنبرجيت، منطقة مينا توبا فيزكايا
بأسبانيا. ج- بلورة منشورية بنية اللون من الإيتريوم-ألانييت
(حوالي اسم) موجودة في كوارتز. منطقة بون، ساكسوني،
ألمانيا..... ٨٩
- ٢٠-٣ صورة مجهرية للألانييت من جرانيت ألومينومي Metaluminous.

- يظهر المعدن نطاقية نتيجة تغير التركيب الكيميائي أثناء المراحل المتعاقبة من نموه. ويؤثر المعدن في المعادن المحيطة مسببا تكسير متفرع Radial cracks نتيجة زيادة حجمه. الضوء المستقطب (X100)..... ٩٠
- ٢١-٣ بلورة مركبة لمعدن الفيزيوفيانيت..... ٩٢
- ٢٢-٣ العديد من البلورات البنية اللون من معدن الفيزيوفيانيت متواجدة في خلفية بيضاء اللون من الحجر الجيري. أكبر بلورة تصل إلى حوالي اسم طول وكل البلورات لها نهاية هرمية ومقاطعها مربعة الشكل. من منطقة كواهيللا بالمكسيك..... ٩٥
- ٢٣-٣ معدن كالفورنيت أخضر اللون (حجر زينة) من رواسب بولجا بكاليفورنيا..... ٩٦
- ٢٤-٣ بلورات إبرية بيضاء من الفيزيوفيانيت الغنى بالفلور من منجم ليبيكو للحديد بروسيا. حجم الصورة ١,٢ سم..... ٩٦
- ٢٥-٣ بلورات منشورية حمراء داكنة من الفيزيوفيانيت الغنى بالمنجنيز (أطول بلورة حوالي ٢ مم) من منجم نتشوانج بجنوب أفريقيا..... ٩٦
- ٢٦-٣ البنية البلورية للإلفيت..... ٩٨
- ٢٧-٣ بلورة إلفيت منشورية سوداء اللون موجودة مع بلورة كوارتز سداسية من منجم سوفيتسكيج الأول بروسيا..... ٩٨
- ٢٨-٣ بلورة إلفيت سوداء اللون موجودة مع بلورات كوارتز من منجم نيكولافيسكي بروسيا..... ٩٩
- ٢٩-٣ معدن السيدريت الثانوي بعد إحلاله لمعدن الإلفيت من منجم نيكولافيسكي بروسيا..... ١٠٠
- ١-٤ ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويقة المعادن السيليكاتية الحلقية. (أ) ٣ وحدات، (ب) ٤ وحدات، (ج) ٦ وحدات..... ١٠٣
- ٢-٤ (أ) تصنيف التورمالين إلى مجاميع بناءً على نسبة العناصر الشاغلة للموقع X. (ب) تصنيف التورمالين إلى مجموعات تحتية بناءً على إشغال الفلورين والأكسجين والهيدروكسيل للموقع W (هاوثورن وهنري ١٩٩٩)..... ١٠٦
- ٣-٤ بعض من الأشكال البلورية المميزة لمعدن التورمالين..... ١١١
- ٤-٤ البنية البلورية للتورمالين: (أ) في اتجاه المحور البلوري "c"،

١١٤	(ب) في اتجاه عمودي على المحور البلوري "c"	
١٢٠	مخطط حديد Fe ١ (حديد Fe + ماغنسيوم Mg) مقابل صوديوم Na ١ (صوديوم Na + كالسيوم Ca) لأنواع مختلفة من التورمالين من بعض الأماكن بالعالم.....	٥-٤
١٢١	مخطط ألومنيوم Al - حديد Fe + ألومنيوم Al - ماغنسيوم Mg + ألومنيوم Al، و كالسيوم Ca - حديد Fe - ماغنسيوم Mg للتكوين الكيميائي للتورمالين من مناطق مختلفة من العالم.....	٦-٤
١٢٢	بلورات لبعض أنواع التورمالين ذات ألوان مختلفة.....	٧-٤
١٢٣	النطق اللونية لبلورة تورمالين من منطقة انجانابونونيا Anganabonoina بمدغشقر.....	٨-٤
١٢٦	(أ) الصفات البصرية، (ب) الوزن النوعي للتورمالين نسبة إلى عدد الأيونات (الحديد الثنائي Fe^{+2} + الحديد الثلاثي Fe^{+3} + المنجنيز Mn) على أساس ٣١ هيدروكسيل OH وفلورين F (دير وأخرون ١٩٨٩).....	٩-٤
١٢٩	بعض من الأشكال البلورية المميزة لمعدن البيريل.....	١٠-٤
١٢٩	البنية البلورية لمعدن البيريل.....	١١-٤
١٣١	منظر جانبي للحلقات يوضح كيفية إتصالها بوحدات رباعي الأوجه. مخطط يبين مدى اعتماد محتوى الماء بالبيريل على: (أ) درجة الحرارة عند ضغط يساوي ٣,٤ و ١٠,٨ كيلوبار ، (ب) الضغط عند درجات حرارة ٦٠٠ و ٩٠٠ درجة مئوية.....	١٢-٤
١٣٦	أنواع مختلفة من البيريل.....	١٣-٤
١٣٧	مخطط يبين تغير معاملات الانكسار والكثافة النوعية بالبيريل مع تغير النسبة الجزيئية للمحتوى القلوي.....	١٤-٤
١٣٨	الشكل البلوري المميز لمعدن الكورديريت.....	١٥-٤
١٤٢	أشكال توضيحية للترتيب الممكن لحلقات رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والألومنيومي AlO_4 في الكورديريت: (أ) حلقات من أربع أعضاء ذات تركيب $Al_2Si_2O_{12}$ (تماثل D_{4h})، (ب) حلقات من ستة أعضاء وذات تركيب $Al_2Si_4O_{18}$ (تماثل D_{6h}).....	١٦-٤
١٤٣	البنية البلورية للكورديريت كما هو مرئي أسفل المحور البلوري "c" لبنية حلقة ذات ستة وحدات.....	١٧-٤
١٤٥	كورديريت ذو لون أزرق ورمادي.....	١٨-٤
١٥٠		١٩-٤

٢٠-٤	مثلث يبين الأنواع المختلفة لمجموعة الأكسينيت حسب محتواها	
١٥٢	من الماغنسيوم والحديد والمنجنيز.....	
٢١-٤	مثلث لعناصر المنجنيز-الكالسيوم-الحديد يوضع مدى التغير في	
١٥٤	تركيب الأكسينيت بالتواجدات الصخرية المختلفة.....	
٢٢-٤	أكسينيت حديدي وماغنيسيومي.....	
١٥٧	البنية البلورية للبيروكسين.....	
١٦١	طريقة رصد مواقع ثماني ورباعي الأوجه بالبنية البلورية لأنواع	
١٦٢	البيروكسين.....	
١٦٥	سلاسل تفاعلات المحلول الصلب للمجاميع التحتية للبيروكسين...	
١٦٦	منحنى الضغط والحرارة لمتعددي الأشكال للإنستاتيت.....	
٥-٥	مخطط ثنائي الصنف بين طرفي سلسلة محلول صلب لمعدني	
١٦٧	البيجونيت والأوجيت.....	
٦-٥	مخطط يوضح خط فصل المحلول الجامد المتجانس للديوبسيد-	
١٦٩	إنستاتيت.....	
١٧٢	مجموعة معادن البيروكسين السودي.....	
٨-٥	إنقسام مميز في اتجاهين بينهما زاوية ٩٠ درجة للديوبسيد	
١٧٣	ومعادن الكلينوبيروكسين الأخرى.....	
٩-٥	تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج وزاوية	
١٧٤	الإنطفاء والزوايا البصرية بتغير المحتوى الحديدي بالموقع M1	
	بسلسلة الإيجيرين-الإيجيرين أوجيت.....	
١٠-٥	(أ-ب) بلورة بنية اللون توأمية للكلينوبيروكسين (CPX)، لاحظ	
	ألوان التداخل العالية للكلينوبيروكسين (رتبة ثانية أزرق وبرتقالي)	
	مقارنة بالوان التداخل المنخفضة (رمادي) للأرثوبيروكسين	
١٧٥	(OPX) بالشكل (ج).....	
١١-٥	(أ) بلورة منشورية بنية اللون للإنستاتيت من منطقة كيلوزا	
	بتنزايا: (ب) إنستاتيت عديم اللون إلى وردي بصخور النوريت	
١٧٧	(تحت الضوء المستقطب ، التكبير = ١٠٠x).....	
١٢-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٧٩	الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن البيجونيت.....	
١٣-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٨١	الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الديوبسيد.....	
١٨١	بلورات منشورية خضراء اللون للديوبسيد.....	

١٥-٥	الصحبة المعدنية المتكونة من تحول الصخور الجيرية عند ٥٢٠	
١٨٢	درجة مئوية (الفيلالي ٢٠٠٥).....	
١٦-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٨٤	الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الإيجيرين.....	
١٧-٥	بلورات خضراء اللون إلى أخضر قاتم من الإيجيرين على هياكل	
١٨٥	مختلفة (أ) إبرية، (ب) كتلية، (ج) منشورية، (د) شعاعية.....	
١٨-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٨٧	الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الأوجيت.....	
١٩-٥	بلورات منشورية من الأوجيت خضراء اللون (أ) وسوداء اللون	
	(ب). (ج-د) صورة ميكروسكوبية للأوجيت (Cpx) مع صحبه	
	من السبينيل (Sp) والأورثوبيروكسين (Opx) بصخور	
	البيريدونيت بنيومكسيكو. لاحظ الاختلاف في التضاريس وألوان	
١٨٨	التداخل بين نوعي البيروكسين.....	
٢٠-٥	سلسلة رباعيات الأوجه السيليكاتية (أ) البيروكسين، (ب-ج)	
١٩٠	البيروكسينويد (نيسي ٢٠٠٠ Nesse).....	
٢١-٥	العلاقة ما بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٩١	الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الولاستونيت.....	
٢٢-٥	ولاستونيت عديم اللون.....	
٢٣-٥	الصحبة المعدنية المتكونة من تحول صخور جيرية عند درجة	
١٩٢	حرارة ٦٤٠-٦٨٠ درجة مئوية (الفيلالي ٢٠٠٥).....	
٢٤-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٩٤	الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الرودونيت.....	
٢٥-٥	(أ) رودونيت وردي اللون مع قليل من الكوارتز. (ب) رودونيت	
	أحمر اللون بصحبة سباسرتين بمنطقة بروكين هيل	
١٩٥	باستراليا.....	
٢٦-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل	
١٩٧	الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن البيكتوليت.....	
٢٧-٥	بلورات إبرية عديمة اللون من البيكتوليت بالكالسيت (مصفى	
١٩٨	اللون) من محجر بودريتي، كوبيك، كندا.....	
٢٨-٥	(أ) البنية البلورية لمعادن الأمفيبول. (ب) ترتيب وحدات رباعي	
	وثنائي الأوجه على هيئة "T-O-T". (ج) إتجاهي الانفصام خلال	
٢٠٠	طبقات "T-O-T".....	

٢٩-٥	تصنيف مجموعة الأمفيبول الغنى بالماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم. (عن لييك وآخرون ١٩٩٧).....	٢٠٣
٣٠-٥	تصنيف مجموعة الأمفيبول الكالسي (عن لييك وآخرون ١٩٩٧).....	٢٠٤
٣١-٥	تصنيف مجموعة الأمفيبول الصودي-الكالسي (عن لييك وآخرون ١٩٩٧).....	٢٠٥
٣٢-٥	تصنيف مجموعة الأمفيبول الصودي (عن لييك وآخرون ١٩٩٧).....	٢٠٦
٣٣-٥	تصنيف مجموعة أمفيبول الصوديوم-الكالسيوم-الحديد-الماغنسيوم-المنجنيز-الليثيوم (لييك وآخرون ٢٠٠٤).....	٢٠٧
٣٤-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) فى بلورة لمعدن الأنثوفيليت.....	٢١١
٣٥-٥	مخطط افتراضي يظهر الإصناف المتكونة إثر تبادل أيونى الحديد والماغنسيوم للتركيب $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2 - Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (بويد ١٩٥٩ Boyd).....	٢١٢
٣٦-٥	بلورات شعاعية بنية اللون من الأنثوفيليت.....	٢١٣
٣٧-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) فى بلورة لمعدن الكمينجتونيت.....	٢١٥
٣٨-٥	تغير معاملات الإنكسار وزاوية الانطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الماغنيسيومي بسلسلة الكمينجتونيت-الجرونيريت.....	٢١٧
٣٩-٥	منحنى الإتزان للتفاعل تريموليت \leftrightarrow ٣ إنستاييت + ٢ ديوبسيد + سيليكات + بخار. (بويد ١٩٥٤ Boyd).....	٢١٩
٤٠-٥	(أ) هيئة منشورية للتريموليت. (ب) تريموليت أبيض اللون (ج) هيئة شعاعية للتريموليت (د) تريموليت غني بالكروميوم مع كالسيت (أبيض اللون).....	٢٢٠
٤١-٥	تغير معاملات الانكسار وزاوية الانطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الماغنيسيومي بسلسلة التريموليت-الأكتينوليت الحديدي.....	٢٢١
٤٢-٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) فى بلورة لمعدن الأكتينوليت.....	٢٢٣
٤٣-٥	(أ) بلورات منشورية للأكتينوليت بصحبة الكوارتز. (ب) هيئة إبرية شعاعية للأكتينوليت. (ج) هيئة ليفية لأكتينوليت أخضر	

٢٢٤	فاتح.....	
	تصنيف أنواع الأمفيبول (جلوكوفان-كروسي-ريبيكيت) بناءً على نسبة الحديد الثلاثي (100 Fe^{3+}) إلى مجموع الحديد والألومنيوم والتيتانيوم ($\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^6 + \text{Ti}$). (دير وآخرون ١٩٨٩).....	٤٤-٥
٢٢٦	جلوكوفان رمادي غامق مع صلبة من الكلوريت والأباتيت من منطقة فاللي فورد بكاليفورنيا.....	٤٥-٥
٢٢٧	العلاقة بين التركيب الكيميائي ومعاملات الإنكسار بسلسلة الجلوكوفان-كروسي-ريبيكيت ماغنيسيومي-ريبيكيت (عن دير وآخرون ١٩٨٩).....	٤٦-٥
٢٢٨	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الهورنبلند، كما يظهر في الشكل إتجاه المحورين البصريين OA والمستوى المحوري البصري (OAP).....	٤٧-٥
٢٣٠	بلورة رمادية اللون ومنشورية للهورنبلند من منطقة مونتا سوما بإيطاليا Monte Somma, Italy. (ب) بلورة كتلية للهورنبلند ذات لون أخضر غامق من منجم فيلي أجاتز بالمانيا Willi Agatz Mine, Germany.....	٤٨-٥
٢٣٢	الإنقسام المميز للأمفيبول عند ٥٦ و ١٢٤° في مقاطع لبلورات مختلفة.....	٤٩-٥
٢٣٣	ترتيب رباعيات الأوجه السيليكاتية في الفيلوسيليكات. نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢: ٥.....	١-٦
٢٣٥	التوزيع الفراغي لكل من رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه في الفيلوسيليكات.....	٢-٦
٢٣٦	البناء الصفائحى لمعادن الفيلوسيليكات.....	٣-٦
٢٣٧	البناء الصفائحى من النوع ١:٢ T-O-T الممثل لمعدن تلك.....	٤-٦
٢٤١	البناء البلورى لمعدن تلك، تشغل ذرات الماغنسيوم جميع مواقع ثمانيات الأوجه.....	٥-٦
٢٤٢	شكل كتلى لمعدن تلك أبيض اللون.....	٦-٦
٢٤٥	البناء البلورى لمعدن البيروفيلايت: تشغل أيونات الألومنيوم ثلثي مواقع ثمانيات الأوجه ويبقى الثلث الأخير فارغاً.....	٧-٦
٢٤٨	معدن البيروفيلايت في الهيئة الشعاعية على هيئة مراوح.....	٨-٦
٢٥٠		

٢٥٤	٩-٦	تداخل جيد متناسق Good fit بين رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه في البناء ثلاثي الثماني Trioctahedral وتداخل غير متناسق Misfit في البناء ثنائي الثماني Dioctahedral.....
٢٥٦	١٠-٦	البناء الصفائحى للمسكوفيت في الثلاث أبعاد.....
٢٥٨	١١-٦	الهيئة البلورية للمسكوفيت.....
٢٦٢	١٢-٦	رمل جلوكونيتى متواجد فى تكوينات اللطين فى إنجلترا.....
٢٦٤	١٣-٦	بلورات صفراء ليفية من المارجريت من منجم قديم للتجستن بولاية كونكتيكت الأمريكية.....
٢٦٨	١٤-٦	أ- رقائق من البيوتيت المدخن، ب- صفائح غير منتظمة من معدن البيوتيت.....
٢٧٠	١٥-٦	البناء البلورى لليبيدوليت.....
٢٧٠	١٦-٦	نماذج من بلورات معدن الليبيدوليت.....
٢٧٢	١٧-٦	بلورة ليبيدوليت سداسية الشكل ورثيقية اللون توضح النطاقية بوجود المسكوفيت عند الحافة.....
٢٧٣	١٨-٦	معدن الليبيدوليت يحتوى على عروق من الثوريت.....
٢٧٤	١٩-٦	ليبيدوليت فى هيئة غير عادية وهى البطروخية أو العنقودية، تحتوى العينة على بعض الألييت الأبيض. من صخور البيجماتيت، أيتجا- البرازيل.....
٢٧٥	٢٠-٦	البناء البلورى لمعدن الفلوجوبيت.....
٢٧٧	٢١-٦	بلورات منشورية مدببة بنية وخضراء اللون لمعدن الفلوجوبيت ..
٢٨٠	٢٢-٦	البنية البلورية للكلوريت.....
٢٨١	٢٣-٦	نموذج حيود الأشعة السينية للكلوريت.....
٢٨٢	٢٤-٦	تصنيف معادن الكلوريت.....
٢٨٤	٢٥-٦	معدن الكلوريت أخضر اللون فى الشكل السداسي الكاذب.....
	٢٦-٦	أ- كلوريت غنى بالحديد فى وجود المستقطب
		ب- كلوريت غنى بالحديد فى وجود المستقطبين المتعامدين
		ج- كلوريت غنى بالماغنسيوم فى وجود المستقطب
٢٨٥		د- كلوريت غنى بالماغنسيوم فى وجود المستقطبين المتعامدين..
	٢٧-٦	البناء البلورى لمعدن السربنتين، ١:١ (T-O) (طبقة رباعى

٢٨٧	الأوجه SiO_4 : طبقة البروسيت $(\text{Mg}(\text{OH})_6)$	
	انعكاس طبقة رباعيات الأوجه لتكوين بناء معدن الأنتيجوريت	٢٨-٦
٢٨٨	الصفائح	
	رسم يوضح أنسجة معدن السرينثين أ- الشبكي، ب- زجاجة	٢٩-٦
٢٩٠	الساعة	
٢٩٤	البناء البلوري للكاولينيت	٣٠-٦
	البناء البلوري للكاولينيت: لاحظ وجود الهيدروجين على السطح	٣١-٦
	العلوى لثمانيات الأوجه والأكسجين على السطح السفلي لرباعيات	
٢٩٥	الأوجه	
٢٩٦	رسم يوضح البناء الصفائحي (أ) الكاولينيت، (ب، ج) الهالوسيت.	٣٢-٦
٢٩٧	نموذج حيود الأشعة السينية للكاولينيت	٣٣-٦
	صورة بالميكروسكوب الإلكتروني لكاولينيت جيد التبلور وتوضح	٣٤-٦
٢٩٩	الهيئة المنشورية والألواح السداسية وإتجاهات المحاور البلورية...	
	الصورة اليمنى بالميكروسكوب الإلكتروني (SEM) توضح الهيئة	٣٥-٦
	الليفية للهالوسيت. الصورة اليسرى أكثر تكبيراً (TEM) وتوضح	
٣٠٠	هيئة الأنابيب للهالوسيت	
٣٠٣	البنية البلورية للإليت	٣٦-٦
٣٠٥	صورة بالمسبار الإلكتروني توضح صفائح من معدن الإليت	٣٧-٦
٣٠٦	نموذج حيود الأشعة السينية للإليت	٣٨-٦
٣٠٨	البناء البلوري للمونتموريللونيت	٣٩-٦
٣٠٩	نموذج حيود الأشعة السينية للمونتموريللونيت	٤٠-٦
٣١٣	صورة بالمسبار الإلكتروني توضح صفائح من البنتونيت	٤١-٦
٣١٥	البناء البلوري للفيرميكيوليت	٤٢-٦
٣١٦	نموذج حيود الأشعة السينية للفيرميكيوليت	٤٣-٦
	عينات من الفيرميكيوليت توضح أشكال الديدان: أ- عينة صلبة ،	٤٤-٦
٣١٨	ب- قطاع رقيق بين المستطبيين	
٣١٩	معدن اليورانينيت (الأسود) في فيرميكيوليت (البنى)	٤٥-٦
٣٢٨	مجالات الاستقرار لمعادن السيليكا	١-٧
٣٢٣	تأثير الحرارة على ترتيب الذرات في الكوارتز	٢-٧
	العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, a_3, c ومحاور مجسم معامل	٣-٧

٣٢٤	الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الكوارتز.....	
٤-٧	(أ) سلسلة من رباعيات الأوجه السيليكاتي على شكل حلزوني. (ب) البنية البلورية للبيتا كوارتز. (ج) البنية البلورية للألفا كوارتز.....	٣٢٥
٥-٧	(أ) تواءم من بلورات الكوارتز عديمة اللون وشفافة. (ب) كوارتز مدخن بدرجة طفيفة مع بلورات صغيرة الحجم من الكوارتز الوردي. (ج) عين الهر Tiger's Eye. (د) أجيت (عقيق). (هـ) بلورة كوارتز ذات لون اسود مدخن. (و) بلورات ثوأمية بنفسجية اللون من الأميثيست.....	٣٢٧
٦-٧	البنية البلورية للبيتا تريديميت خلال المحور البلوري "c". يشير متوازي الأضلاع (باللون الأحمر) إلى وحدة الخلية.....	٣٣٢
٧-٧	تريديميت عديم اللون (مجال الرؤية: ١,٥ x ١,٢ مم) من جبال أيفيل بألمانيا.....	٣٣٣
٨-٧	بلورة هرمية لمعدن الكريستوباليت المتبلور في فصيلة الرباعي.....	٣٣٤
٩-٧	كريستوباليت (٢ x ٢ سم) من منطقة مونو كريتيرس بكاليفورنيا.....	٣٣٥
	Mono Craters.....	
١٠-٧	الترتيب الحلقي لبنية الفلسبار.....	٣٣٨
١١-٧	البنية البلورية للسانيدين.....	٣٣٩
١٢-٧	بنية بلورية مشوهة نتيجة انخفاض درجة الحرارة. بالمقارنة مع شكل ١١-٧، لاحظ مدى التشوه في الفراغات البينية (لون أزرق شاحب).....	٣٤٠
١٣-٧	مخطط صنف ثنائي binary phase يبين تغير أصناف الفلسبار مع تغير درجات الحرارة والتركيب الكيميائي.....	٣٤٣
١٤-٧	تصنيف الفلسبار.....	٣٤٤
١٥-٧	نمو مشترك للكوارتز بالفلسبار القلوي ليكونا نسيج النمو المشترك الخطي.....	٣٤٨
١٦-٧	نمو مشترك للكوارتز داخل البلاجيوكليز ليكونا النسيج الميرميكيتي.....	٣٤٩
١٧-٧	نمو مشترك للكوارتز داخل الفلسبار القلوي ليكونا نسيج النمو المشترك الجرانوفيري.....	٣٤٩

٣٥٠	(أ) نسيج بيرثيتي ، (ب) نسيج أنتيرثيتي.....	١٨-٧
٣٥١	تواءم الألبيت موازية للوجه (010).....	١٩-٧
٣٥٢	(أ) تواءم بيريكليين والنتيجة عن دوران حول المستوى {010} . (ب) تواءم بيريكليين وألبيت.....	٢٠-٧
٣٥٢	توائم كارلسباد.....	٢١-٧
٣٥٢	(أ) تواءم مانباخ، (ب) تواءم بافينو.....	٢٢-٧
٣٥٤	النطاقية بالبلاجيوكليز.....	٢٣-٧
٣٥٥	العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) في بلورات بعض معادن البلاجيوكليز. OAP = المستوى المحوري البصري.....	٢٤-٧
٣٥٦	بلورة بيضاء إلى رمادية اللون للألبيت. (ب) ألبيت أخضر ومائل للإصفرار.....	٢٥-٧
٣٥٨	تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية بتغير المحتوى الأنورثيتي بسلسلة الألبيت-الأنورثيت لكل من البلاجيوكليز العالي والمنخفض الحرارة.....	٢٦-٧
٣٦٠	مخطط يوضح كيفية معرفة تركيب البلاجيوكليز بدراسة الصفات البصرية بالقطاعات الميكروسكوبية.....	٢٧-٧
٣٦٠	مخطط يوضح كيفية حساب المحتوى الأنورثيتي للبلاجيوكليز بمعلومية قيمة زاوية الإنطفاء.....	٢٨-٧
٣٦٢	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الأرثوكليز، كما يظهر في الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA و OAP.....	٢٩-٧
٣٦٤	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الميكروكلين، كما يظهر في الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA و OAP.....	٣٠-٧
٣٦٥	ميكروكلين وردي اللون من منطقة بيدفورد، نيويورك. (ب) ميكروكلين أصفر اللون من جبل موات Moat Mountain، نيو هامبشاير، الولايات المتحدة الأمريكية. (ج) ميكروكلين أزرق اللون (أمازونيت) على ألبيت (أبيض اللون). (د) ميكروكلين أخضر اللون من اليابان.....	٣١-٧
٣٦٦	الشكل الشبكي المميز للتوأمية في الميكروكلين (منشوري نيكول). العلاقة ما بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل	٣٢-٧ ٣٣-٧

٣٦٨	الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن السانيدين، كما يظهر فى الشكل أيضاً إتجاه المحورين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP	
٣٦٩	صورة ميكروسكوبية للسانيدين. (أ) بالضوء المستقطب، (ب) بمنشوري نيكول	٣٤-٧
٣٧١	تركيب معادن الفلسبار والفلسباتويد (بالنسبة الجزيئية) بنظام النيفيلين-الكالسيلايت-الكوارتز	٣٥-٧
٣٧٢	العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, a_3, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن النيفيلين	٣٦-٧
٣٧٣	البنية البلورية لمعدن النيفيلين	٣٧-٧
٣٧٤	بلورة عديمة اللون للنيفيلين على هيئة منشور سداسي	٣٨-٧
٣٧٥	صور ميكروسكوبية تظهر مدى التشابه فى الصفات البصرية بين النيفيلين والبلاجيوكليز بالصخور البركانية (أ) والصخور الجوفية (ب) الصورتين السفليتين فى كل من أ، ب مأخوذتين بمنشوري نيكول	٣٩-٧
٣٧٧	لوسيت على هيئة الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف الكاذب من منطقة لوكنا Loucna بجمهورية التشيك	٤٠-٧
٣٧٨	البنية البلورية للوسيت (دير وآخرون ١٩٨٩)	٤١-٧
٣٧٩	صورة ميكروسكوبية للوسيت (رمادي اللون) بإستخدام منشوري نيكول	٤٢-٧
٣٨٠	جزء من شبكية سيليكات الألومنيوم بالبنية البلورية للصوداليت (براج ١٩٣٧)	٤٣-٧
٣٨١	صوداليت ذو لون ازرق غامق	٤٤-٧
٣٨٢	البنية البلورية للزوليت (نيسي ٢٠٠٠ Nesse)	٤٥-٧
٣٨٦	العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بعض بلورات معادن الزيوليت	٤٦-٧
٣٨٧	(أ) بلورات إبرية بيضاء اللون لمعدن الناتروليت. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الضوئي لبلورات ليفية للناتروليت	٤٧-٧
٣٨٨	(أ) بلورات بيضاء اللون لمعدن الشابازيت. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الضوئي لبلورات الشابازيت تظهر توأمية إختراقية	٤٨-٧

٤٩-٧	(أ) بلورات بيضاء اللون لمعدن الأنالسيم. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الضوئي لبلورات أنالسيم تظهر هيئة الأربعة وعشرون وجهاً شبه منحرف.....	٣٨٨
٥٠-٧	بلورات خضراء اللون لمعدن الستيلبيت.....	٣٨٩
٥١-٧	بلورات بيضاء اللون لمعدن الهولانديت.....	٣٨٩
٥٢-٧	بلورات منشورية بيضاء اللون لمعدن اللاومونتيت على معدن الأنالسيم.....	٣٩٠

قائمة الجداول

الرقم	رقم الصفحة
١-٢	١٥
٢-٢	١٨
٣-٢	٢٥
٤-٢	٣٣
٥-٢	٤٣
٦-٢	٤٩
٧-٢	٥٣
٨-٢	٥٩
١-٣	٦٤
٢-٣	
	٦٩
٣-٣	
	٧٤
٤-٣	٨٠
٥-٣	٨٦
٦-٣	٩٤
٧-٣	٩٩
١-٤	
	١٠٧
٢-٤	
	١٠٩
٣-٤	١١٧
٤-٤	١٣٢
٥-٤	١٤٨
٦-٤	١٥٥

١٦٤	..... تصنيف البيروكسين	١-٥
١٧٠	..... التحليل الكيميائي للبيروكسين من مناطق مختلفة	٢-٥
٢٠١	..... أبعاد الخلية لبعض معادن الأمفيبول	٣-٥
	..... الأيونات المختلفة والمواقع التي تشغلها بالصيغة العامة	٤-٥
٢٠٢	..... للأمفيبول،	
٢٠٩	..... التحليل الكيميائي للأمفيبول من مناطق مختلفة	٥-٥
٢٣٩	..... تصنيف معادن السليكات الصفائحية (بيلي ١٩٩١)	١-٦
٢٤٣	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لتلك في كل من السويد ومصر...	٢-٦
٢٤٩	..... التحاليل الكيميائية للبيروفيلايت من بعض الدول	٣-٦
٢٥٧	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن المسكوفيت	٤-٦
٢٦٠	..... أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن الجلوكونيت	٥-٦
٢٦٧	..... أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن البيوتيت	٦-٦
٢٧١	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الليبدوليت	٧-٦
٢٧٦	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الفلوجوبيت	٨-٦
٢٨٣	..... التحليل الكيميائي للأنواع المختلفة من الكلوريت	٩-٦
٢٨٩	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لأنواع مختلفة من السربنتين	١٠-٦
٢٩٨	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لرواسب الكاولين	١١-٦
٣٠٤	..... التحليل الكيميائي لمعدن الإليت	١٢-٦
٣١٠	..... نماذج من التحاليل الكيميائية لبعض معادن السميكتيت	١٣-٦
٣١٢	..... الخصائص البصرية لمعادن السميكتيت	١٤-٦
٣١٧	..... التحليل الكيميائي لمعدن الفيرميكيوليت	١٥-٦
٣٢١	..... معادن مجموعة السيليكات	١-٧
٣٤٥	..... أمثلة للتحاليل الكيميائية لمعادن الفلسبار	٢-٧
٣٥٣	..... نسبة الألبيت والأنورثيت بسلسلة معادن البلاجيوكليز	٣-٧
	..... مقارنة لأهم الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن الفلسبار	٤-٧
٣٦٩	..... البوتاسي	
	..... الاختلافات الرئيسية بين مجموعة الفلسباتويد ومجموعة	٥-٧
٣٧٠	..... الفلسبار	

٦-٧	أنواع الزيوليت المقترحة من قبل جمعية علم المعادن الدولية...	٣٨٣
٧-٧	أمثلة للتحاليل الكيميائية لبعض من معادن الزيوليت من منطقة	
	مودرن، نوبا سكوتيا، كندا	٣٨٥

تعريف عام

ما المقصود بكلمة "معدن"؟

المعادن هي المادة الأساسية التي تتكون منها الأرض وقد تمكن الإنسان من التعرف على المعادن منذ زمن بعيد. فقد كان هيجنس Huygens (١٦٧٨) أول من لفت النظر للترتيب الذري للمعادن وإنعكاسه على الصفات البلورية والطبيعية من خلال دراسته لظاهرة الإنكسار المزدوج. وفي عام (١٧٨١) افترض هوي Haüy أن المعادن متكونة من بلورات وأن البلورات بدورها تتكون من مجموعات كبيرة من الحبيبات الصغيرة المتشابهة. وقد ساعد ظهور تقنية الأشعة السينية في أواخر القرن التاسع عشر في التعرف على الترتيب الذري الداخلي للمعادن. وفي عام (١٨٩٨) عرف كل من برش وبينفيلد Brush and Penfield المعدن علي أنه أي مادة ذات تركيب كيميائي معين توجد علي صورة غير عضوية ولها تركيب ذري ثابت أو نظام بلوري محدد ولها أيضاً صفات فيزيائية معروفة جيداً. وأتفق علماء علم المعادن حديثاً علي أن تطلق كلمة معدن علي أي مادة تتوافر فيها الشروط التالية:

- ١- تكونت بفعل عوامل طبيعية في صورة صلبة غير عضوية. فمثلاً يطلق علي الألماس Diamond والمتكون طبيعياً نتيجة عمليات جيولوجية معينة اسم معدن، بينما لا يطلق هذا الاسم علي النوعيات التي يتم تصنيعها. كذلك الحال بالنسبة إلي الفحم، حيث لا يمكن إطلاق اسم معدن عليه لأنه عبارة عن مادة عضوية. هناك أيضاً بعض العناصر والتي لا يمكن إطلاق اسم معدن عليها، مثل الزئبق ويرجع ذلك لوجوده في حالة سائلة. ورغم ذلك فإن بعض المراجع العلمية تنص علي أنه ليس بالضرورة إطلاق اسم معدن علي المواد غير العضوية فقط حيث أن هناك أيضاً بعض المواد التي تتكون بطريقة عضوية تتشابه لدرجة كبيرة مع المواد غير العضوية. فمثلاً تعتبر الكربونات التي تدخل في تكوين المحاريات من المعادن رغم أنها تعتبر مواد عضوية متبلورة تتكون بفعل كائنات حية Organisms.

٢- أن تكون في صورة متجانسة، حيث أن المعدن يجب أن يكون متجانساً في صفاته الكيميائية والفيزيائية لكل وحدة من وحداته الذرية وبالتالي فإن للمعدن صفات فيزيائية مميزة (مثل الكثافة Density والانضغاط Compressibility ومعامل الإنكسار Index of refraction والصلادة والانقسام والشكل البلوري و...إلى آخره). وهذا يعني أن المادة التي تتكون من أكثر من مركب لا يطلق عليها اسم معدن.

٣- أن تكون ذات صيغة كيميائية محددة Definite chemical formula، مثل الكالسيت وصيغته الكيميائية هي CaCO_3 والهاليت وصيغته NaCl والهيمايت وصيغته Fe_2O_3 والجرافيت وصيغته C الخ.

٤- أن تكون مستقرة على مدى محدد من درجات الحرارة والضغط.

٥- أن تكون لها القدرة على النمو والتغير بناءً على التغيرات الكيميائية، مثل عمليات إعادة التبلور لمعدن في صورة معدن آخر.

٦- أن يكون لها بناء داخلي محدد، أي أنها تتكون من ذرات ذات ترتيب على صورة صلبة متبلورة. وأن تكون ذات تركيب كيميائي محدد Definite، وليس بالضرورة ثابت، ويعنى ذلك أن الذرات أو مجموعات الذرات يجب أن تتواجد بنسب معينة. يتم تحديد نسب الكاتيونات إلى الأنيونات في معظم المعادن بناءً على إتزان الشحنة Charge balance، حيث أن الذرات التي لها نفس الشحنة ونصف القطر الأيوني ممكن أن تحل محل بعضها ومن هنا جاء التعريف "محدد" ولكن ليس بالضرورة ثابت.

ويمكن مما سبق أن نعرف المعدن على أنه مادة غير عضوية توجد طبيعياً على شكل صلب متجانس وذات تركيب كيميائي محدد، ولكن غير ثابت، ولها أيضاً ترتيب ذري وشكل بلوري مميز.

ما المقصود بعلم المعادن Mineralogy ؟

يمكن تعريف علم المعادن بأنه أحد أفرع علوم الأرض والذي يهتم بدراسة صفات المعادن من النواحي الكيميائية والبنية البلورية والصفات

الفيزيائية والبصرية. كما يهتم هذا العلم بدراسة نشأة المعادن وتصنيفها وعمليات تخليقها وتآكلها. وقد ساهم التقدم التكنولوجي في الوسائل المعملية مثل الحيود النيتروني Neutron diffraction وأيضاً الوسائل المتقدمة لتطبيقات الحاسب الآلى في التعرف على البنية البلورية للمعادن من خلال قياسات دقيقة. ولعلم المعادن أهمية كبيرة في مختلف أفرع علوم الأرض. فعلى سبيل المثال، يلزم الجيوفيزيائي والذي يقوم بدراسة سلوك الموجات السيزمية بالوشاح والقشرة الأرضية فهم دقيق لبعض الصفات البلورية للمعادن. كذلك الحال للجيوكيميائي الذي يقوم بدراسة ملوثات المياه الجوفية والذي يحتاج إلى معرفة سلوك المعادن وكيفية مشاركتها في عمليات التلوث للمياه الجوفية. وأيضاً العاملين بمجال علم البراكين، يجب ان يكونوا على دراية كافية بتفسير نسيج النطاقية بالمعادن والتي ترتبط بعمليات المجمة والطفوح البركانية. كما يخدم علم المعادن علوم أخرى متعددة كما هو واضح بشكل رقم (١-١).

كيف يتكون المعدن؟

يمكن أن يتكون المعدن بطرق متعددة، ومنها:

١- التبلور من صهير أو محاليل مائية حارة سواء كان ذلك في أعماق الأرض أو على سطحها. نتجت غالبية المعادن المكونة للقشرة الأرضية من جراء التفارق المصاحب لتبلور الصهير حيث تكون هذه المعادن الصخور النارية.

٢- الترسيب من المياه الجوفية حيث تتغير كيميائية المياه الجوفية عند إنتقالها إلى مستويات عميقة في الخزان الجوفي مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى ترسيب المعادن في أوساط مختزلة مثل ترسيب معادن اليورانيوم.

٣- الترسيب من مياه المحيطات والبحار والأنهار والبحيرات: مثل تكون معادن الكربونات والمتبخرات ورواسب المرقد Placer deposits والرواسب المتبقية Residual deposits والرواسب العضوية مثل الفوسفات.



شكل ١-١: المجالات ذات العلاقة بعلم المعادن.

٤- عمليات التغاير والتحول، حيث تتكون معادن جديدة من جراء إعادة التبلور لمعادن سابقة نتيجة تغير ظروف الضغط والحرارة.

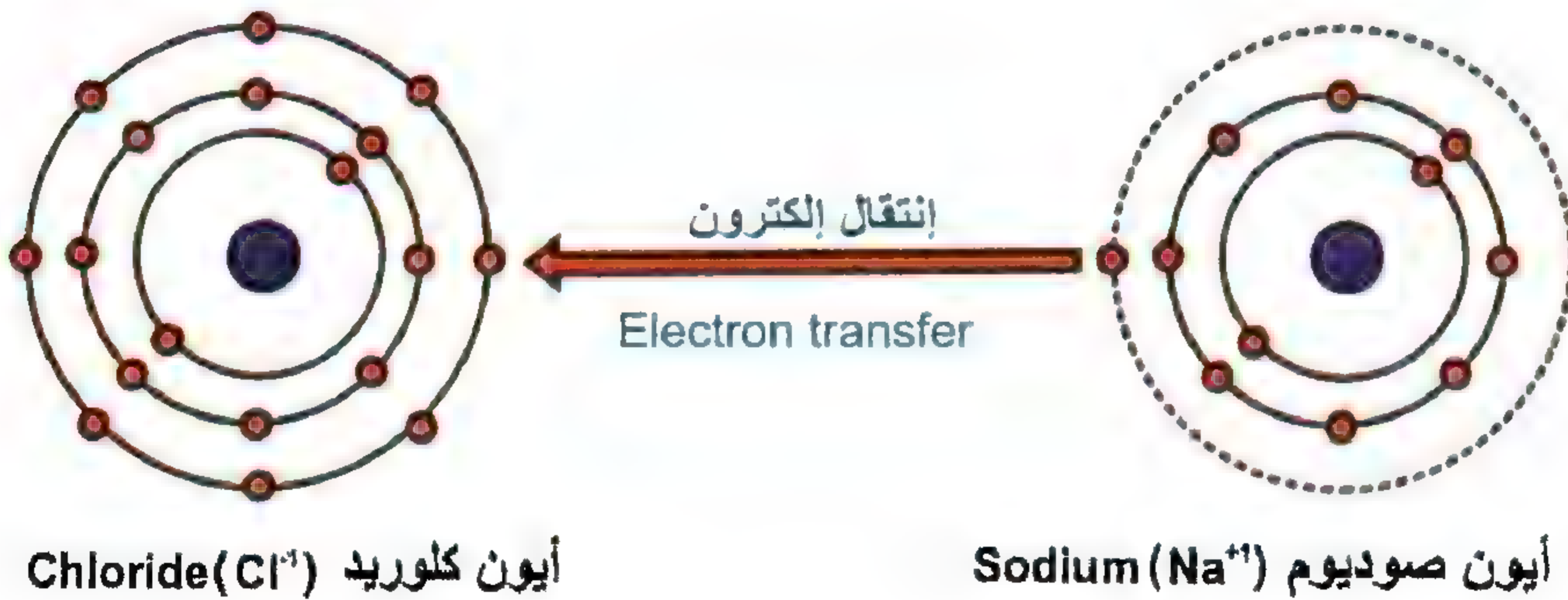
٥- عمليات الإحلال والتفاعلات الكيميائية: مثل عمليات الجرزنة Greisenization والألبنة Albitization والأكسدة Oxidation والتي تؤدي إلى نشأة وتركيز بعض المعادن الإقتصادية الهامة مثل الكاسيتريت والفلوريت والكولومبيت وخامات الحديد.

٦- النشاط العضوي للكائنات الحية: مثل تكوين بعض معادن الحديد والكبريت العنصري بواسطة البكتريا والترسيبات التي تتم في بيئات البحيرات العذبة والمستنقعات والأماكن القريبة من النافورات البركانية Submarine exhalation.

ما هي العلاقة بين المعادن والكيمياء Minerals and chemistry ؟

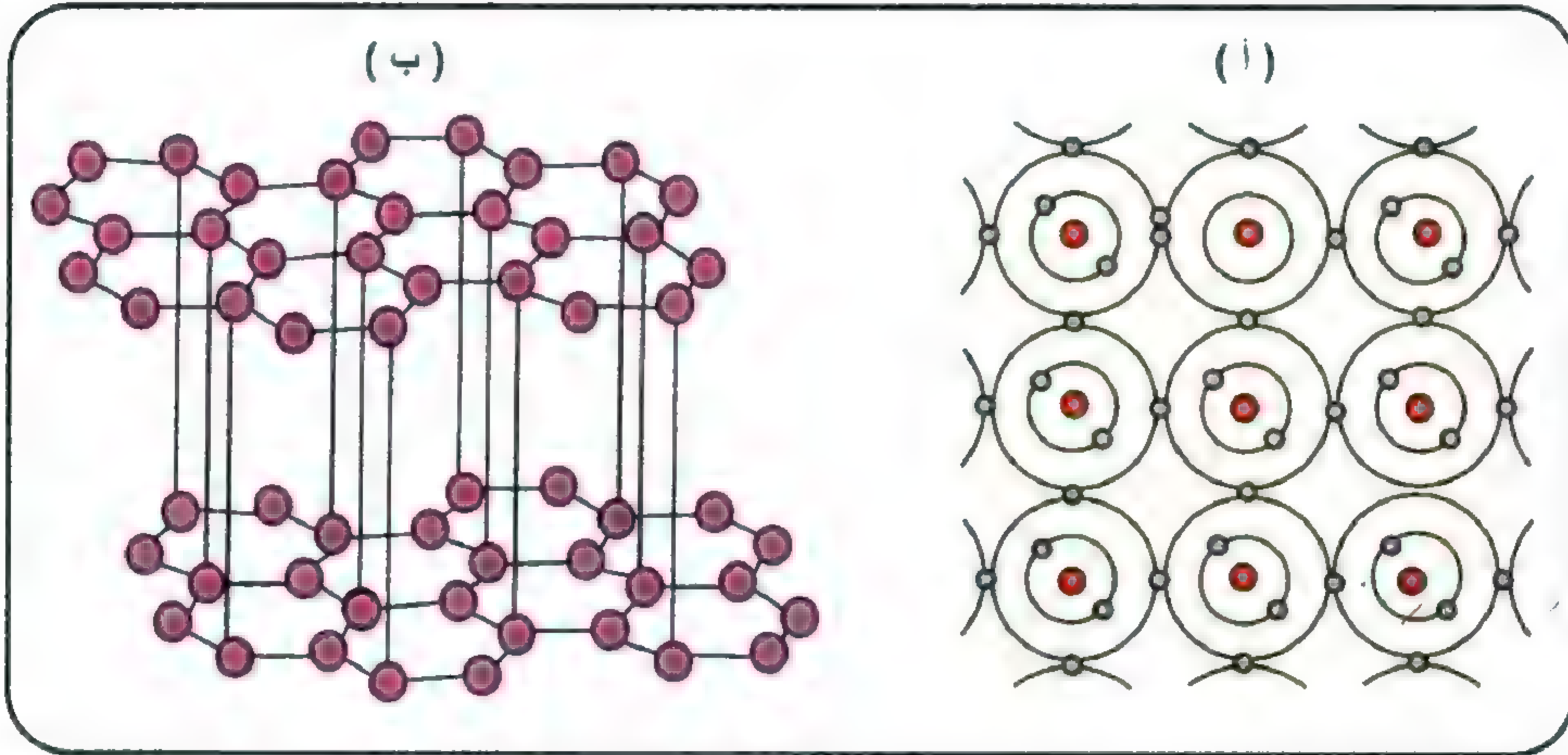
تُعرف العلاقة التي تربط التركيب الكيميائي للمعدن وبناءه الذري الداخلي باسم الكيمياء البلورية Crystal chemistry. ولكي نفهم تلك العلاقة يلزمنا خلفية ولو بسيطة عن بعض الأسس الكيميائية وأهمها الروابط الكيميائية Chemical bonds. تعرف الرابطة الكيميائية علي أنها إتحاد ذرات عنصرين أو أكثر لتكوين مركب. وهناك ٤ أنواع رئيسية من الروابط الكيميائية:

(أ) الرابطة الأيونية Ionic bond: هي ترابط بين ذرتين بأن تعطي إحداهن إلكترون أو أكثر للأخرى وتصبح الذرة المعطية موجبة الشحنة (كاتيون) بينما تصبح الذرة المستقبلة للألكترونات سالبة الشحنة (أنيون). وحيث أن الشحنات الموجبة والسالبة تتجذب في إتجاه بعضهما البعض، فإنه ينشأ إرتباط بين الايونين (الكاتيون والانيون) ويسمى هذا الإرتباط بالرابطة الأيونية. مثال ذلك الترابط الأيوني بين الصوديوم والكلورين ليكونا كلوريد الصوديوم (شكل ١-٢) وتسمى مثل هذه الذرات بالأيونات لعدم تساوي عدد الإلكترونات وعدد البروتونات فيها (أي أنها غير متعادلة كهربياً).



شكل ١-٢: الرابطة الأيونية حيث ينتقل إلكترون من المدار الخارجي لذرة الصوديوم إلى المدار الخارجي لذرة الكلوريد. بمجرد أن تتم عملية الانتقال للإلكترون، يصبح الصوديوم موجب الشحنة، بينما الكلوريد سالب الشحنة.

(ب) الرابطة التساهمية Covalent bond: وفيها تساهم إحدى الذرات بالكترون أو عدة إلكترونات مع ذرة أخرى أو أكثر. وتعد الرابطة التساهمية أقوى من الرابطة الأيونية. مثال ذلك معدن الألماس وترتبط فيه ذرات الكربون بروابط تساهمية (شكل ١-٣).

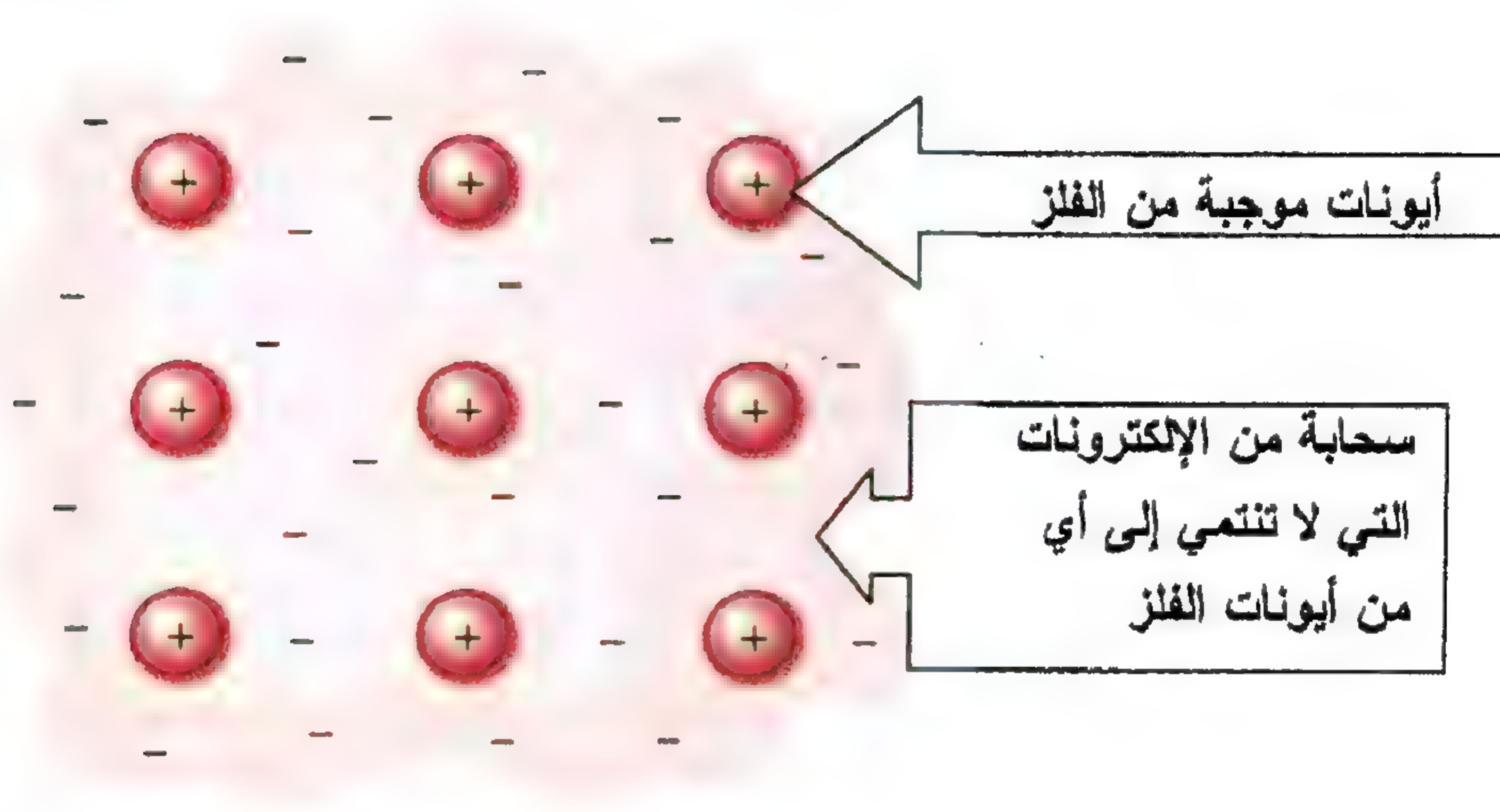


شكل ١-٣: (أ) الرابطة التساهمية لذرات الكربون المجاورة لبعضها لتكوين الألماس. (ب) الرابطة التساهمية بالجرافيت، ترتبط صفائح الكربون في الجرافيت مع بعضها البعض رأسياً برابطة فان درفال.

(ج) الرابطة الفلزية Metallic bond: هي الرابطة التي تربط ذرات الفلزات، وفيها تحاط نواة ذرة الفلز بسحابة من الإلكترونات ذات الانتقال الحر في البناء الذري للفلز (شكل ١-٤). ويمكن إعطاء مثال بسيط لتوضيح تلك العلاقة والتي تشبه أسرة ذاهبة لقضاء نزهة خلوية، حيث تمثل أنوية الذرات بالأباء الذين يقفون ويتحدثون لبعضهم ومستيقظين تماماً لما حولهم، أما الأبناء فأنهم يمثلون الإلكترونات والذين يتحركون بحرية حول الأباء ولكن مازالوا تحت سيطرة أبائهم. وتعزى ظاهرة التوصيل الكهربى للمعادن إلى حرية حركة تلك الإلكترونات.

(د) رابطة فان درفال Van der Waal bond: وهي عبارة عن قوى الكتروستاتيكية ضعيفة تربط الجزيئات المتعادلة ببعضها ببعض. مثال ذلك الجرافيت حيث ترتبط الذرات ببعضها في صفائح بواسطة الرابطة

التساهمية القوية، بينما ترتبط الصفائح فيما بينها بواسطة رابطة فان درفال الضعيفة (شكل ١-٣ ب).

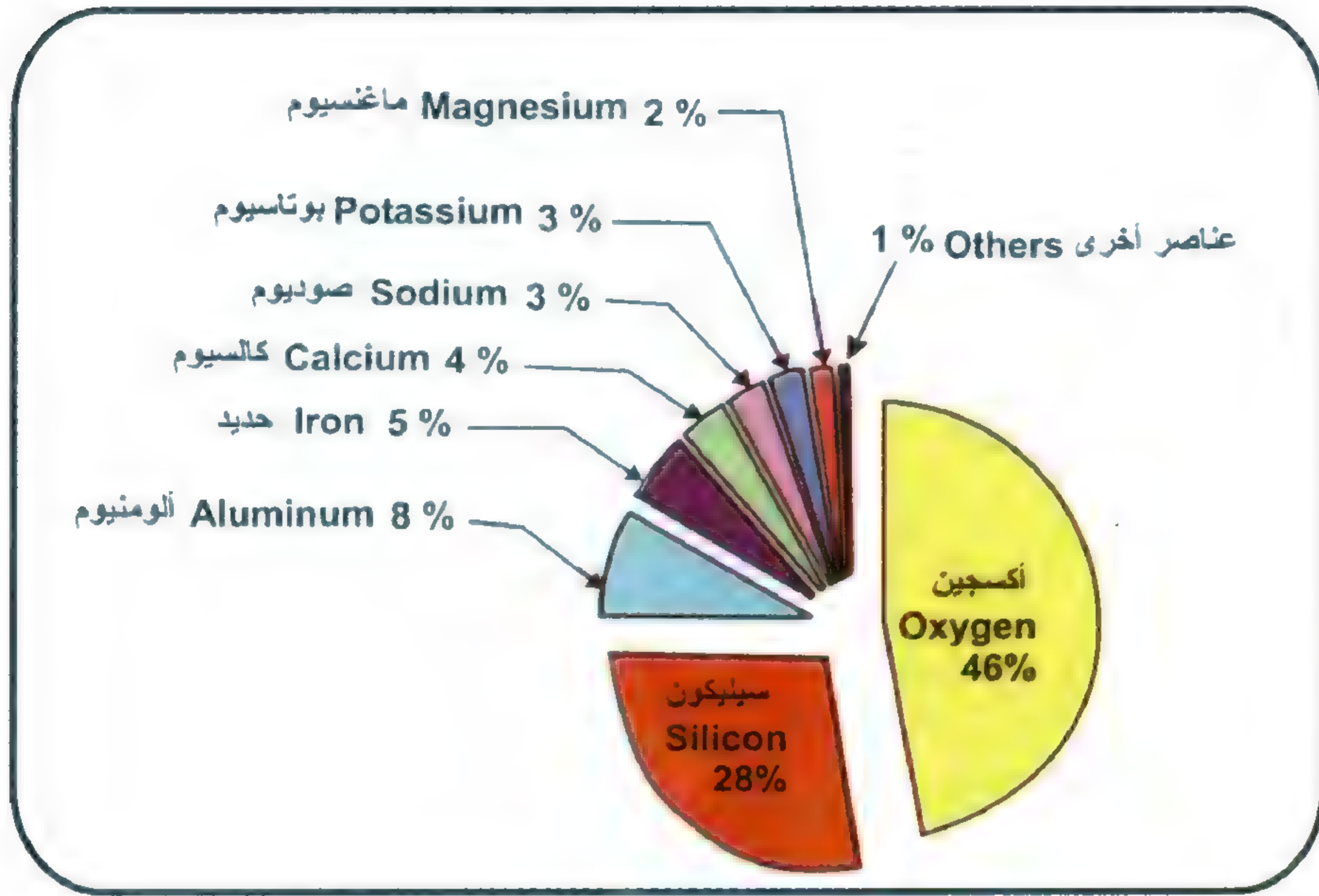


شكل ١-٤: الرابطة الفلزية حيث تحاط أيونات الفلز بسحابة من الإلكترونات. (مؤسسة جون ويلي وصن ، ١٩٩٨، John Willy and Sons Inc.).

التصنيف العام للمعادن Minerals classification

تتكون القشرة الأرضية مما يزيد عن مائة عنصر، ورغم ذلك، فإن هناك ثمانى عناصر فقط تمثل حوالي ٩٩% من وزن القشرة الأرضية (شكل ١-٥). يوضح هذا الشكل أن الأكسجين هو أكثر العناصر شيوعاً كوزن وحجم ونسبة بالقشرة الأرضية ويليه عنصر السيليكون. بينما يمثل الألومنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم الستة عناصر الباقية.

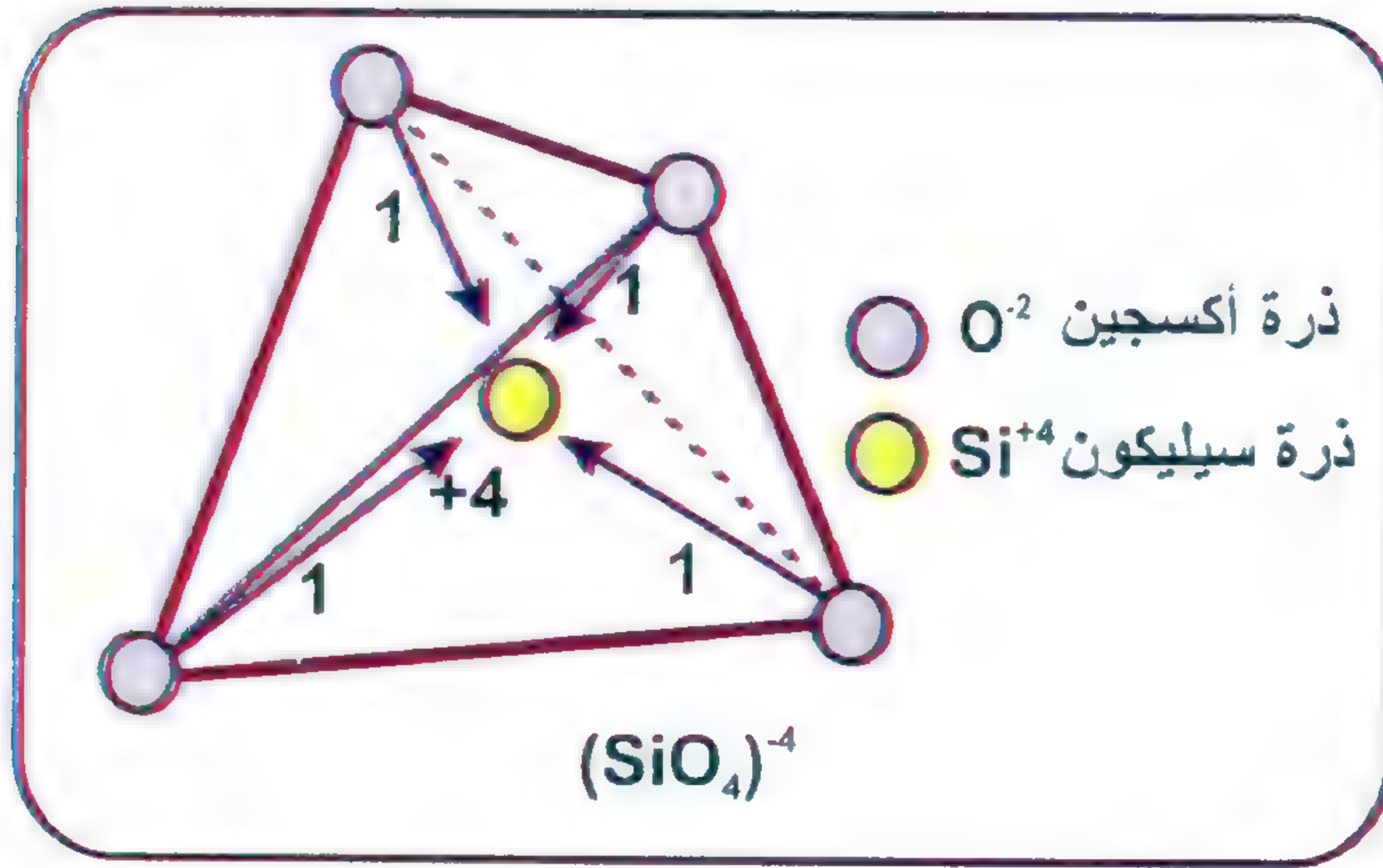
يتحد عنصرى الأكسجين والسيليكا ليكونا الدعامة الرئيسية لأحد أهم طوائف المعادن المكونة للقشرة الأرضية والتي تعرف باسم المعادن السيليكاتية. وتتكون هذه الدعامة من أربع ذرات أكسجين حول ذرة سيليكون واحدة في هيئة تسمى برباعى الأوجه السيليكاتى Silica tetrahedron (شكل



شكل ١-٥: توزيع نسب العناصر الأساسية بالقشرة الأرضية.

(٦-١). ويتم تصنيف المعادن بناءً على الشق الأنيوني أو مجموعة متعددة الأنيونات Polyanionic group لعناصر متواجدة بالمعدن. ومتعدد الأنيونات هو مجموعة من الذرات ذات الارتباط القوي والتي تتكون من الكاتيون مع عديد من الأنيونات (غالباً أكسجين) والتي تكون في محصلتها سالبة الشحنة. على سبيل المثال الكربونات $(CO_3)^{2-}$ والسيليكات $(SiO_4)^{4-}$ حيث يمثل متعدد الأنيونات الأكثر شيوعاً.

ويرجع نجاح هذا التصنيف إلى أن معظم المعادن تحتوي على أنيون أو متعدد الأنيون ونادراً ما تحتوي المعادن على أكثر من أنيون أو متعدد الأنيون، ولكن المعادن تحتوي دائماً على العديد من الكاتيونات. وبناءً على ذلك فقد تم تقسيم المعادن إلى عشرة طوائف Classes رئيسية كالآتي:



شكل ١-٦: وحدة رباعي الأوجه السيليكاتي.

١ - طائفة المعادن العنصرية Native Elements Class :

تضم هذه الطائفة معادن ذات عناصر منفردة، حيث لا تحتوي على أنيون أو متعدد الأنيون. ومن أمثلة ذلك الذهب Au والفضة Ag والنحاس Cu والبلاتين Pt.

٢ - طائفة معادن الكبريتيدات Sulfide Minerals Class :

تحتوي تلك الطائفة على معادن ذات محتوى أنيوني من الكبريت (S) ومن أمثلتها البيريت FeS_2 والسفاليريت ZnS والجالينا PbS . وينضم إلى هذه المجموعة أيضاً معادن ذات محتوى أنيوني ممثل في التيليريوم Te والسيلينيوم Se والزرنيخ As وتسمى تلك المجاميع باسم تيليوريدات Tellurides وسالينيدات Salenides وزرنيخات Arsenides.

٣ - طائفة معادن الهاليدات Halide Minerals Class :

تضم هذه الطائفة المعادن المحتوية على العناصر الهالوجينية (الفلور والكلور والبرون واليود) كأيونات رئيسية. ترتبط ذرات هذه المعادن برابطة أيونية وتحتوي هذه المعادن على كاتيونات من عناصر أرضية قلوية

(مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم). ومن أشهر أمثلة هذه المجموعة الملح أو الهاليت (كلوريد الصوديوم NaCl) والفلوريت CaF_2 .

٤ - طائفة معادن الأكاسيد :Oxide Minerals Class

تتكون معادن الأكاسيد من العديد من الكاتيونات مع الأكسجين. مثال: الهيماتيت Fe_2O_3 والماجنييت Fe_3O_4 .

٥ - طائفة معادن الهيدروكسيدات : Hydroxide Minerals Class

تحتوى هذه الطائفة على متعدد الأنيون OH^- مثل البروسبيت $\text{Mg}(\text{OH})_2$ والجيبسيت $\text{Al}(\text{OH})_3$.

٦ - طائفة معادن الكربونات :Carbonate Minerals Class

تحتوى هذه الطائفة على متعدد الأنيون للكربونات $(\text{CO}_3)^{2-}$ حيث تحاط كل ذرة كربون C^{4+} بثلاث ذرات أكسجين O^{2-} ، مثال ذلك معدن الكالسيت CaCO_3 . وتحتوى أيضاً على مجموعة معادن النترات (مثل النتراتيت NaNO_3 Nitratite) حيث أن متعدد الأنيون للنترات $(\text{NO}_3)^{3-}$ يشابه الكربونات $(\text{CO}_3)^{2-}$ فى الشكل الهندسى Geometry.

٧ - طائفة معادن الكبريتات : Sulfate Minerals Class

تحتوى هذه الطائفة على متعدد الأنيون للكبريتات $(\text{SO}_4)^{2-}$ حيث تحاط ذرة كبريت S^{6+} بأربع ذرات أكسجين فى شكل رباعى الأوجه. وتختلف هذه المجموعة عن الكبريتيدات فى أنها تحتوي على أكسجين بينما الكبريتيدات لا تحتوي عليه.

٨ - طائفة معادن الفوسفات :Phosphate Minerals Class

تحتوى طائفة معادن الفوسفات على رباعى الأوجه $(\text{PO}_4)^{3-}$ كمتعدد أنيوني سائد. ومن الأمثلة الشائعة لتلك المجموعة معدن الأباتيت $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ والذي يمثل المكون الرئيسى للعظام والأسنان. ينضم لهذه المجموعة أيضاً مجموعة معادن الفانيدات $(\text{VO}_4)^{3-}$ Vanadate والزرنيخات

$\text{Arsenate (AsO}_4\text{)}^{3-}$ وذلك لتشابههما الكيميائي وإحتوائهما على متعدد أنيون رباعي الأوجه.

٩ - طائفة معادن البورات **Borate Minerals Class**:

تحتوى تلك الطائفة على أنيون البورات الثلاثى $(\text{BO}_3)^{3-}$ أو الرباعى $(\text{BO}_4)^{4-}$. ومن أمثلة هذه المجموعة معدن البوراكس Borax.

١٠ - طائفة معادن السيليكات **Silicate Minerals Class**:

تحتوى هذه الطائفة على رباعى الأوجه السيليكاتى كمتعدد أنيون سائد، حيث يحاط الكاتيون (السيليكون Si^{4+}) بأربع ذرات أكسجين (شكل ١-٦) وحيث أن السيليكون والأكسجين أكثر العناصر شيوعاً فى القشرة الأرضية، فإن هذه المجموعة تشكل أكبر مجاميع المعادن. وتنقسم السيليكات إلى ستة طويفات Subclasses حسب طريقة ترتيب رباعيات الأوجه السيليكاتية Silicate tetrahedral .

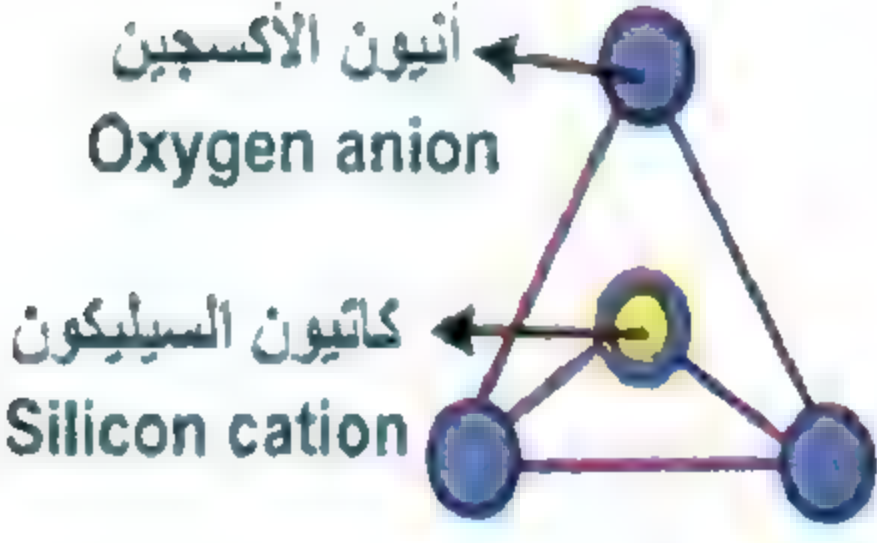
(أ) طويفة المعادن السيليكاتية المنفردة

Nesosilicates or Orthosilicates Subclass

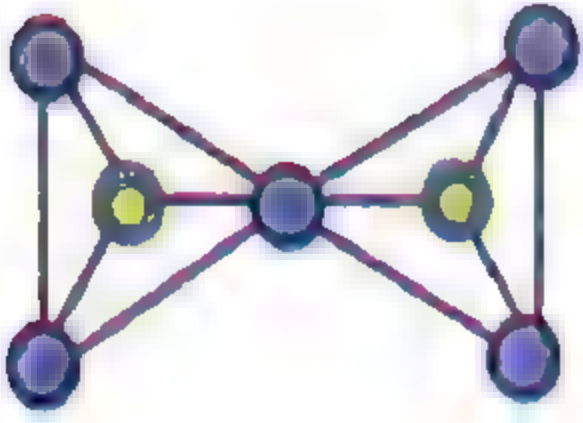
تحتوى هذه المعادن على مجموعات منعزلة من المتعدد الأنيونى SiO_4^{4-} بحيث تحيط ذرات الأكسجين بذرة واحدة فقط من السيليكون Si (شكل ١-٧)، ولا تحدث عملية بلمرة فيما بينهم، ومن أمثلة هذه المعادن: الفورستريت (أوليفين غنى بالماغنسيوم Mg_2SiO_4) والبيروب (جارنت غنى بالماغنسيوم $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$).

(ب) طويفة المعادن السيليكاتية المزدوجة **Sorosilicates Subclass**

تحتوى هذه المعادن على إثنين من رباعى الأوجه، حيث تشارك إحدى ذرات الأكسجين رباعى الأوجه المجاور (شكل ١-٨)، ولذلك فإن المتعدد الأنيونى يكون رمزه $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$. ومن أمثلة هذه الطويفة معدن الإبيدوت $(\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{FeO}(\text{OH})\text{SiO}_4\text{Si}_2\text{O}_7)$.

المعادن الشائعة	صيغة المتعدد الأيوني	وحدة رباعي الأوجه
أوليفين جارت كينايت سليمائيت اندلوسيت شوروليت	$(\text{SiO}_4)^{4-}$	

شكل ١-٧: وحدة رباعي الأوجه السيليكاتي بطويقة المعادن السيليكاتية المنفردة.

المعادن الشائعة	صيغة المتعدد الأيوني	ترتيب وحدة رباعي الأوجه السيليكاتي
الإبيدوت	$(\text{Si}_2\text{O}_7)^{4-}$	

شكل ١-٨: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويقة المعادن السيليكاتية المزدوجة.

(ج) طويقة المعادن السيليكاتية الحلقية Cyclosilicates Subclass

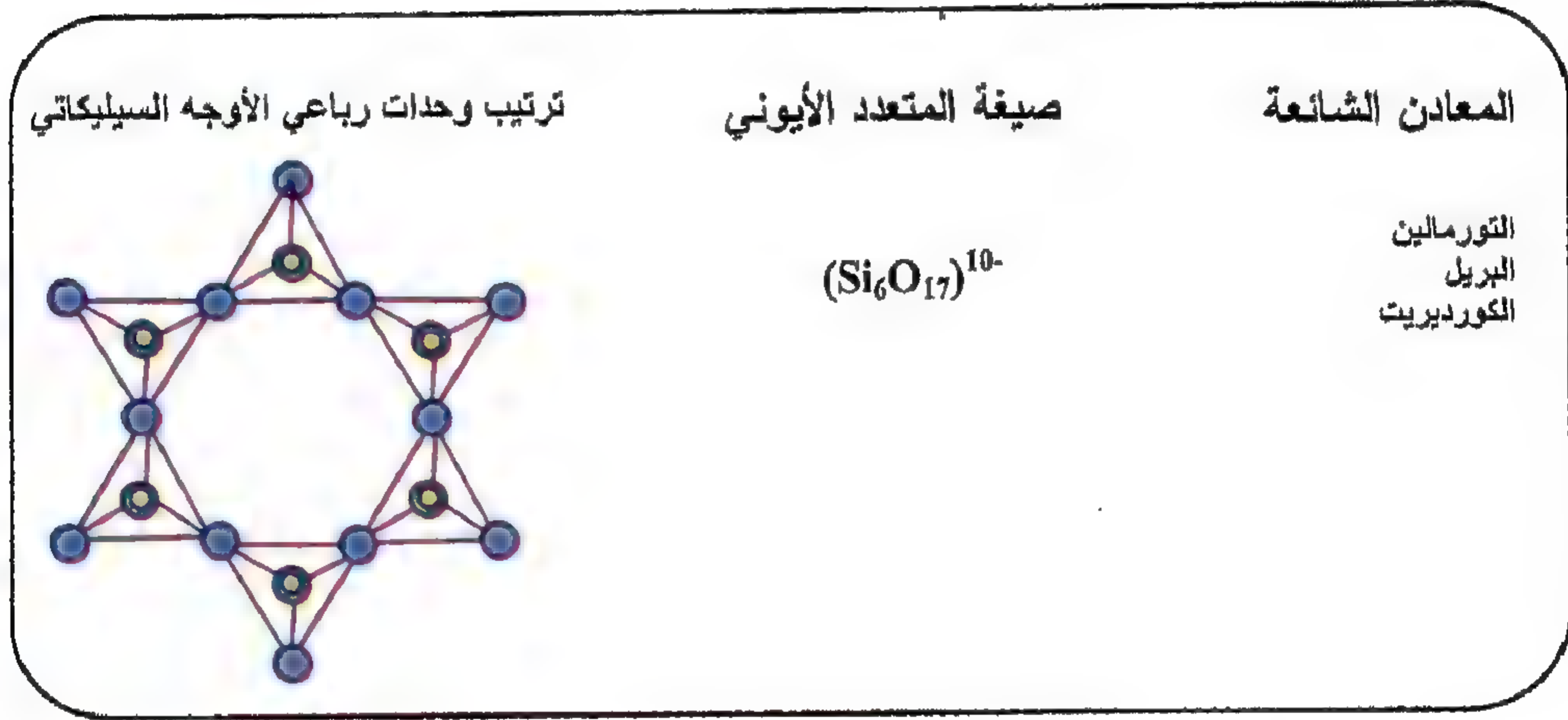
تحتوى هذه المعادن على ستة حلقات من رباعي الأوجه بحيث تصبح الصيغة الكيميائية للمتعدد الأيوني $(\text{Si}_6\text{O}_{17})^{10-}$. من أمثلة هذه المعادن: التورمالين والبيريل (شكل ١-٩).

(د) طويقة المعادن السيليكاتية السلسلية

Chain silicates or Inosilicates Subclass

تحتوى هذه المعادن على رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والذي يشكل عملية بلمرة Polymerization فى إتجاه واحد مكوناً ما يعرف بالسلسلة.

من الممكن أن تتكون سلسلة واحدة بحيث يشارك اثنين من ذرات الأكسجين الأربعة المكافئة لذرة سيليكون مع رباعي الأوجه المجاور فتصبح سلسلة لانهائية ذات الصيغة $(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$ (شكل ١٠-١ أ). وتشتمل السلسلة المفردة على معادن البيروكسين والبيروكسينويد. ومن الممكن أيضاً أن تتكون سلسلة مزدوجة ذات الصيغة الكيميائية $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$ (شكل ١٠-١ ب)، مثل معادن الأمفيبول.



شكل ١-٩: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويقة المعادن السيليكاتية الحلقية.

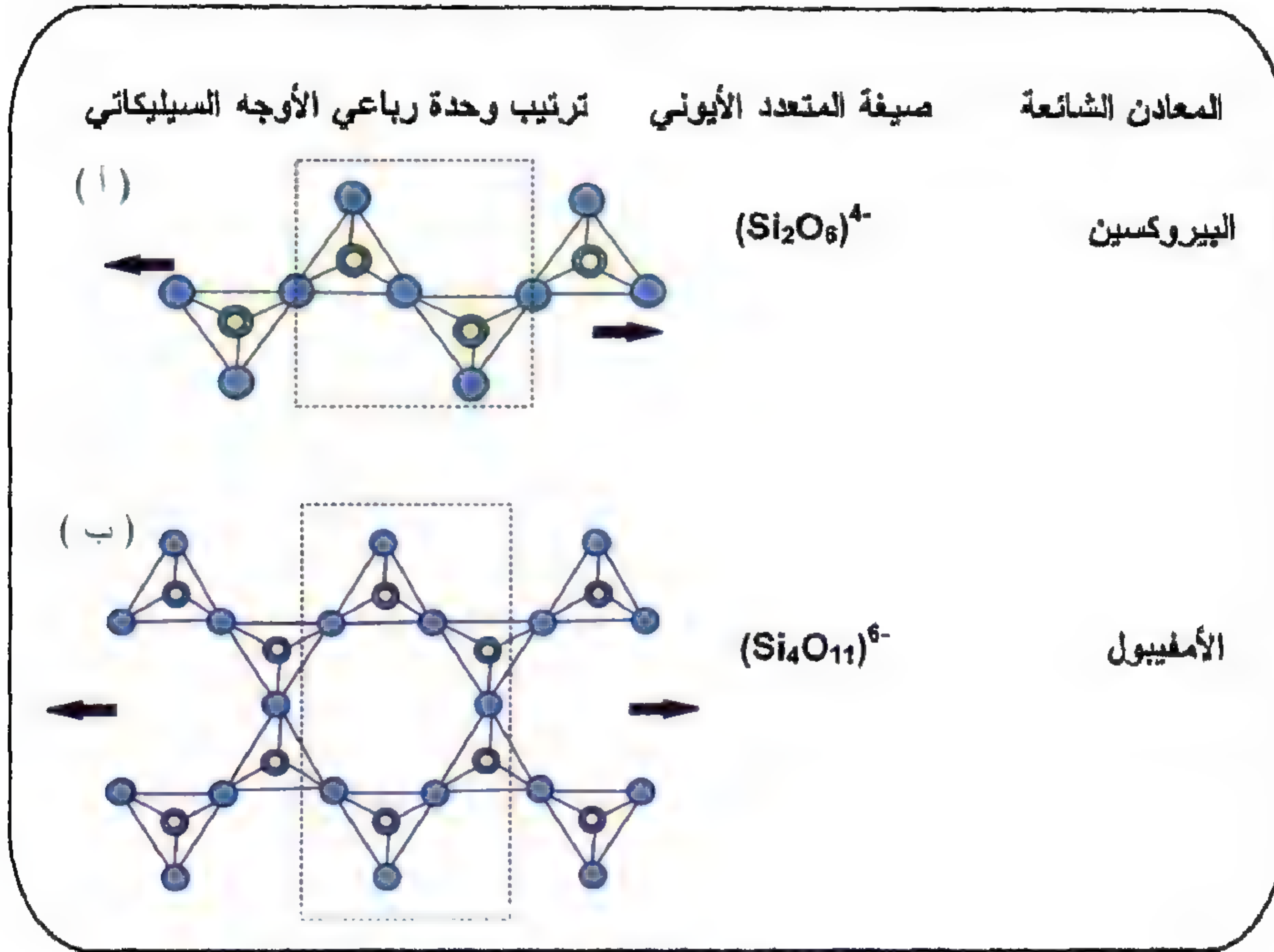
(هـ) طويقة المعادن السيليكاتية الصفائحية Sheet Silicates Subclass:

تحتوى هذه المعادن على وحدات متعددة من رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والتي تتبلر في اتجاهين لتكون صفائح بالصيغة $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$ (شكل ١١-١). من الأمثلة الشائعة لتلك المعادن مجموعة الميكا حيث تمثل مستويات انفصامها البنية الصفائحية لتلك المعادن.

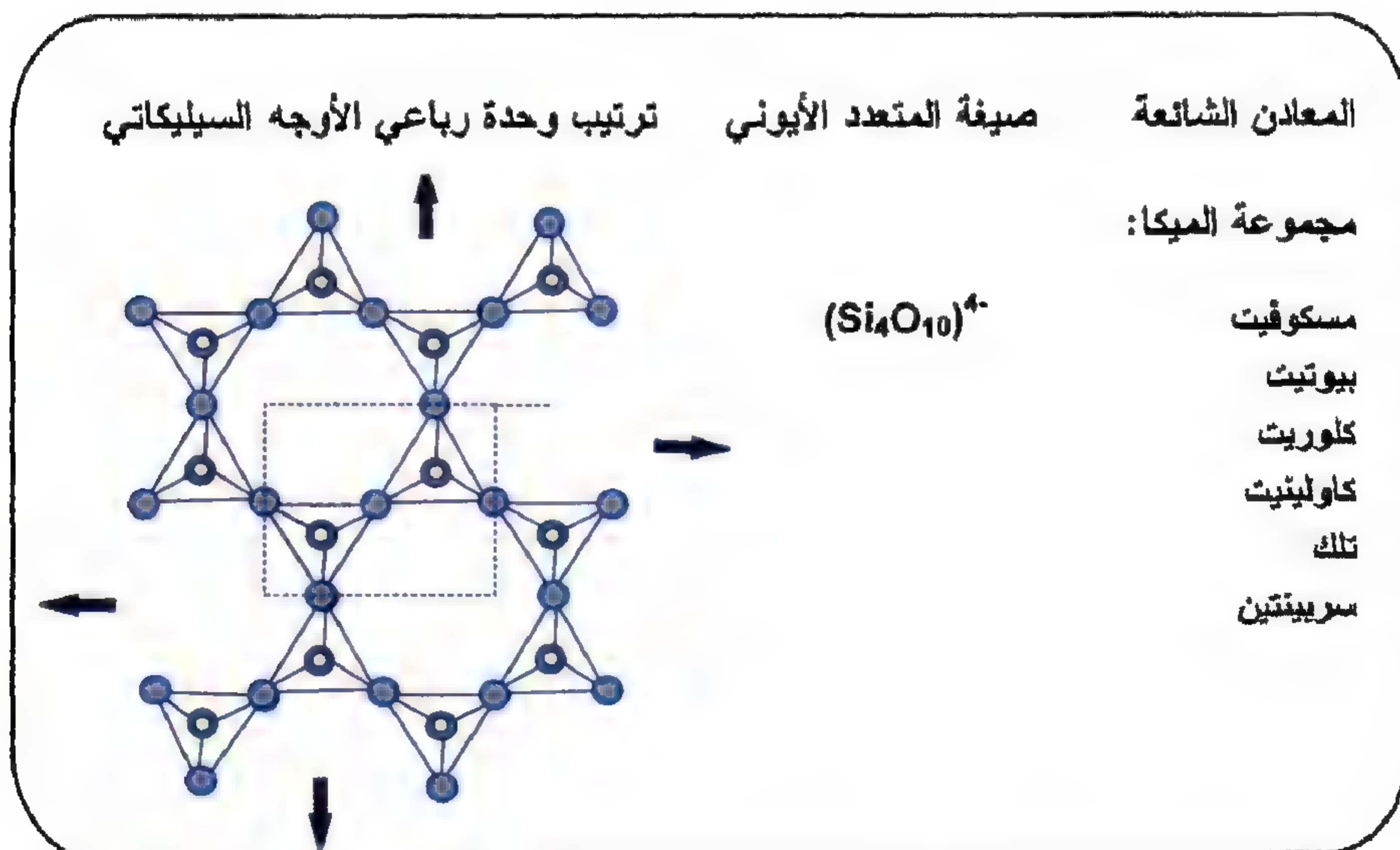
(و) طويقة المعادن السيليكاتية الشبكية Framework Silicates Subclass:

تحتوى هذه المعادن على رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والذي يتبلر في ثلاثة اتجاهات ليكون شبكة بالصيغة الكيميائية (SiO_2) . ومن الأمثلة الشائعة معدن الكوارتز (SiO_2) والألبيت $(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8)$ والشائع تواجدهما

بالقشرة الأرضية. فى الفلسبارات، يحل الألومنيوم الثلاثى Al^{3+} محل السيليكون الرباعى Si^{4+} برباعى الأوجه، ويتم تعويض عدم الإتران الناتج بدخول كاتيون قلوى (صوديوم أو بوتاسيوم) فى الفراغات البينية للشبكة.



شكل ١-١٠: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويقة المعادن السيليكاتية السلسلية المفردة (أ) والمزدوجة (ب).



شكل ١-١١: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي بطويقة المعادن السيليكاتية الصفائحية.

الباب الثاني


المعادن السيليكاتية المنفردة

Nesosilicates

مجموعة الأوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ Olivine group

تحتوي معادن مجموعة الأوليفين على وحدات منعزلة من المتعدد الأنيوني SiO_4^{4-} (أنظر شكل ١-٧). يرجع اسم هذه المجموعة إلى اللون الأخضر الذي تتميز به معادنها والتي تحمل الصيغة العامة X_2SiO_4 ، حيث أن X تشير إلى أيون كالسيوم أو ماغنسيوم أو حديد أو منجنيز أو نيكل. تضم هذه المجموعة ٨ معادن أساسية كما هو موضح في الجدول رقم (١-٢)، كما يوضح هذا الجدول بعض الصفات البلورية والفيزيائية لتلك المعادن.

جدول ١-٢: بعض الصفات البلورية والفيزيائية لمعادن الأوليفين

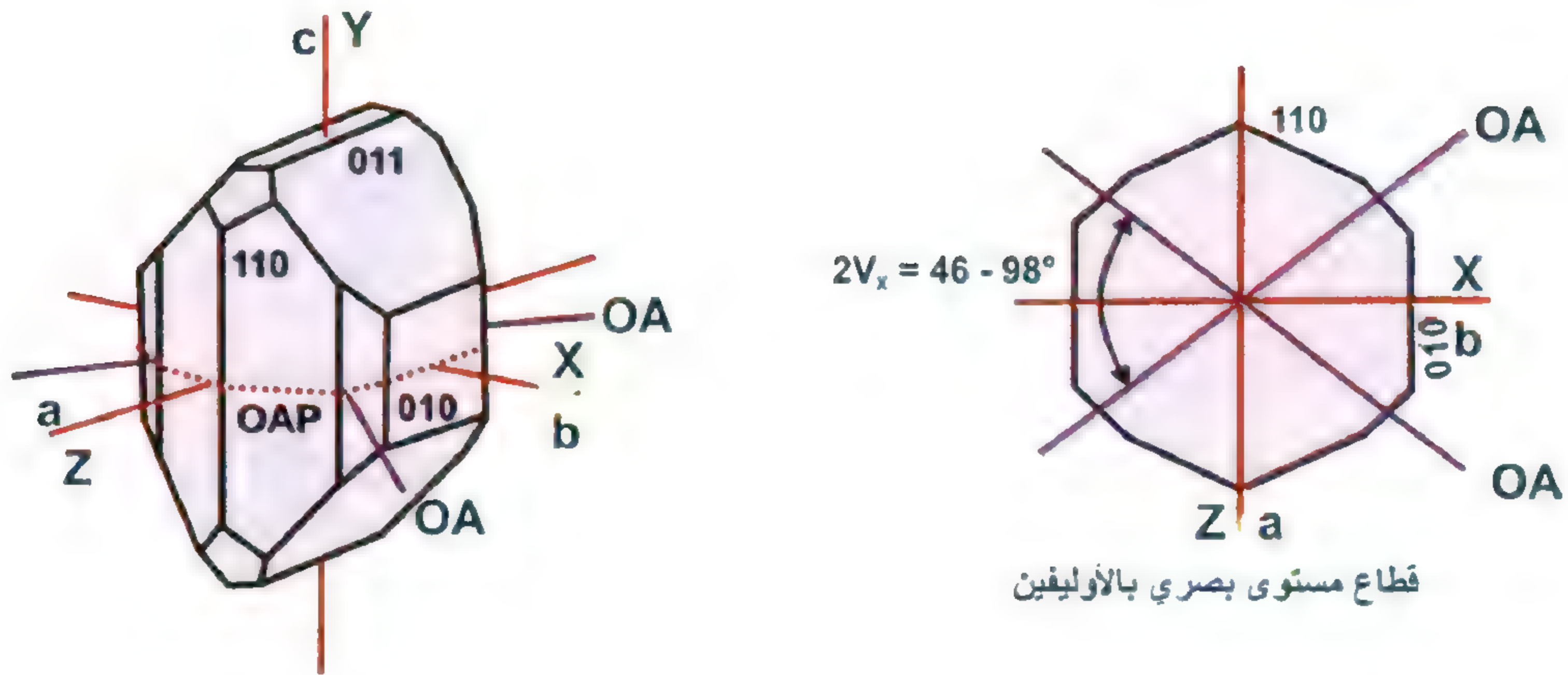
الوزن النوعي	أبعاد خلية الوحدة (أنجستروم)			Z	المجموعة الفراغية	مجموعة النقطة	فصيلة التبلور	اسم المعدن
	ج	ب	ا					
٣,٢٢٧	٥,٩٧٨	١٠,٤٨٠	٤,٧٥٣	٤	Pbnm	2/m2/m2/m		فورستريت Forsterite
٤,٤٠٢	٦,٠٨٧	١٠,٤٧٨	٤,٨١٩					فياليت Fayalite
٤,١٢٧	٦,٢٥٦	١٠,٥٩٦	٤,٩٠٢					تيفرويت Tephroite
٤,٩٢١	٥,٩١٣	١٠,١١٨	٤,٧٢٦					ليبينبرجيت Liebenbergite
٢,٩٦٩	٦,٧٦٠	١٠,٢٢٥	٥,٠٧٨					أوليفين كالسي Ca- Olivine
٤,٧١٩	٦,٠٠٠	١٠,٢٩٩	٤,٧٨١					أوليفين كوبالتي Co- Olivine
٣,٠٤٠	٦,٣٨٢	١١,١٠٨	٤,٨٢٢					مونتيسيليت monticellite
٣,٩٦٥	٦,١٤٦	١٠,٥٧٧	٤,٨٤٤					كيرششتاينيت Kirschsteinite

فورستريت Mg_2SiO_4 وفياليت Fe_2SiO_4

يأتي اسم فورستريت تكريماً لأحد العلماء والذي يدعى ج. فورستر J. Forster. بينما يعود اسم الفياليت إلى مكان تواجدته بجزيرة فيال Fayal Island بالأزورس Azores.

البنية البلورية Crystal structure

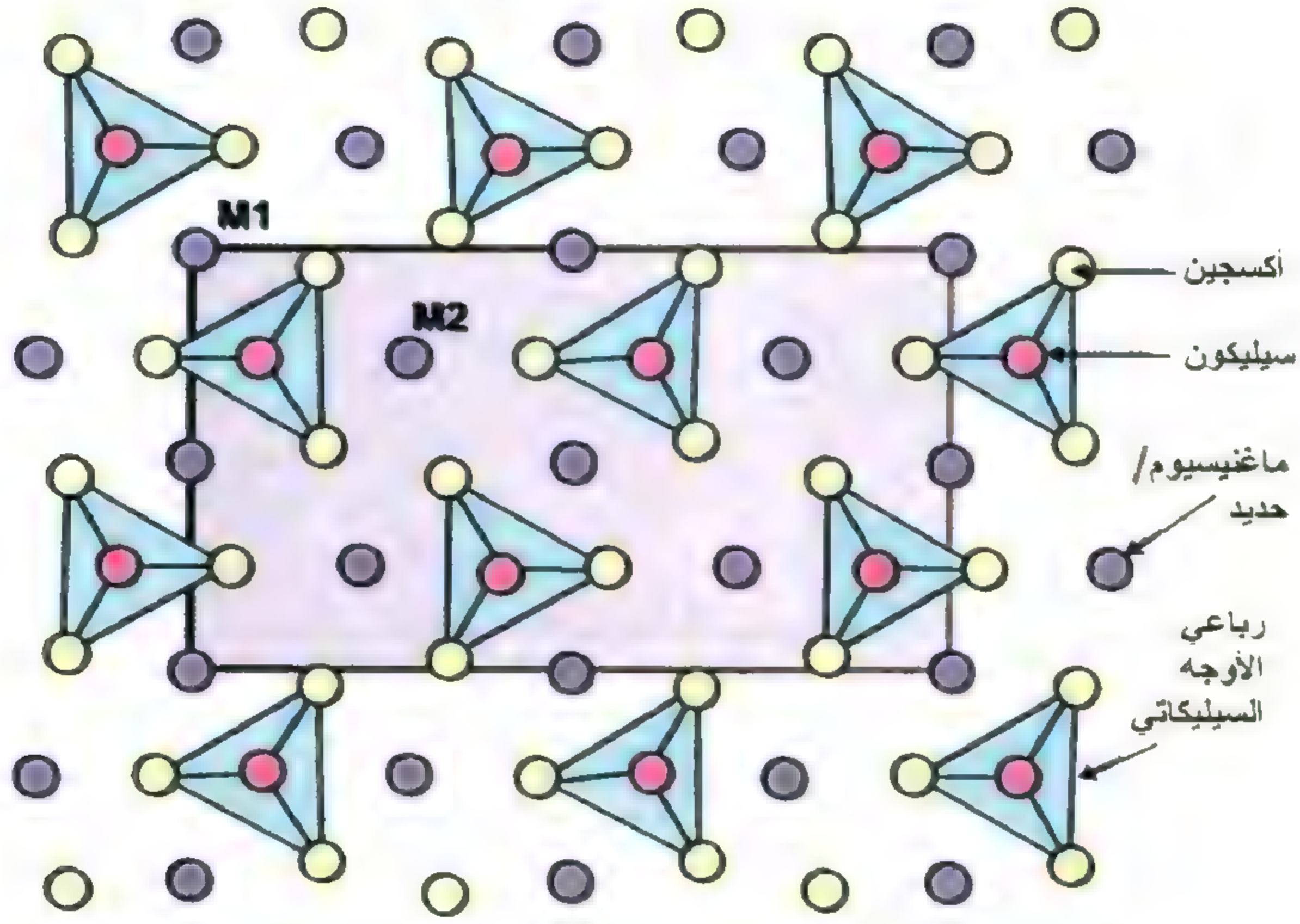
تتبلور جميع معادن الأوليفين في فصيلة المعيني القائم (شكل ٢-١) وبلوراتها منشورية قصيرة، كما توجد على هيئة كتلية أو حبيبية. يندر وجود التوأمية، وعند وجودها ينتج عنها شكل نجمي Star shaped trillings.



شكل ٢-١: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الأوليفين، كما يظهر بالشكل إتجاه المحاورين البصريين OA ومقدار الزاوية البصرية $(2V)$. $OAP =$ المستوى المحوري البصري.

تتكون البنية البلورية من وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي المنعزلة والتي تتصل ببعضها عن طريق وحدات ثماني الأوجه (ماغنسيوم في حالة الفورستريت وحديد في حالة الفياليت). يوجد موقعين للكاتيونات بالبنية البلورية للأوليفين $M1, M2$ (شكل ٢-٢). يبلغ طول الرابطة بين الموقع $M1$ والأكسجين $(M1-O)$ ٢,١٦ أنجستروم، بينما الرابطة في حالة الموقع $M2$ تكون أطول بدرجة طفيفة (٢,١٩ أنجستروم). يناسب الموقع $M2$ تواجد الأيونات كبيرة الحجم مثل الكالسيوم والمنجنيز وذلك لكونه مشوهاً إلى حد ما بالنسبة إلى الترتيب الهندسي المنتظم، بينما يناسب الموقع $M1$ تواجد أيونات صغيرة الحجم مثل النيكل. ونظراً لوسطية حجم أيون الحديد، فإنه يشغل أي من الموقعين حسب ظروف درجات الحرارة. فعند درجات الحرارة العالية، يتواجد الحديد بكلا الموقعين، ولكن مع إنخفاض درجة الحرارة، فإنه يفضل

التواجد بإحدهما وهذا السلوك للحديد يجعل من الأوليفين معدن جيد في مقاييس الحرارة Geothermometers.



شكل ٢-٢: البنية البلورية للأوليفين خلال المحور البلوري "a".

كيمائية المعدن Mineral chemistry

توجد سلسلة محلول-صلب كاملة يكون طرفيها الفورستريت (Mg_2SiO_4) والفياليت (Fe_2SiO_4) (شكل ٢-٣). ينصهر الفورستريت في درجة حرارة (1890°C) أعلى من الفياليت (1205°C) ويرجع ذلك إلى صغر نصف قطر أيون الماغنسيوم عن أيون الحديد حيث ينجذب كل من الماغنسيوم والأكسجين لبعضهما أكثر من الحديد والأكسجين. عند تبريد الصهير، يتبلور الفورستريت الغني بالماغنسيوم أولاً ومع استمرار عملية التبلور يصبح الصهير أكثر غنى بالحديد حيث يتبلور في النهاية الفياليت. من الممكن وجود كميات بسيطة من الكالسيوم والنيكل نتيجة إحلالهما محل الماغنسيوم والحديد في معادن هذه السلسلة (جدول ٢-٢).

جدول ٢-٢: التحليل الكيميائي للأوليفين من مناطق مختلفة.

٤	٣	٢	١	
٢٩,٨٠	٣٩,٩٩	٤٣,١٣	٤٢,٧١	SiO ₂
٠,١٢	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	TiO ₂
٠,٠٦	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Al ₂ O ₃
٦٥,٦٠	١٢,٨٢	٢,٧٣	٣,٦٨	FeO
١,٦٩	٠,٣١	٠,٠٠	٠,٢٧	MnO
١,٧٢	٤٦,٠٩	٥٤,٢٣	٥٢,٤٥	MgO
٠,١٩	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,١٥	CaO
٩٩,٢١	٩٩,١٠	١٠٠,٠٩	٩٩,٢٦	المجموع

كاتيونات = ذرة أكسجين

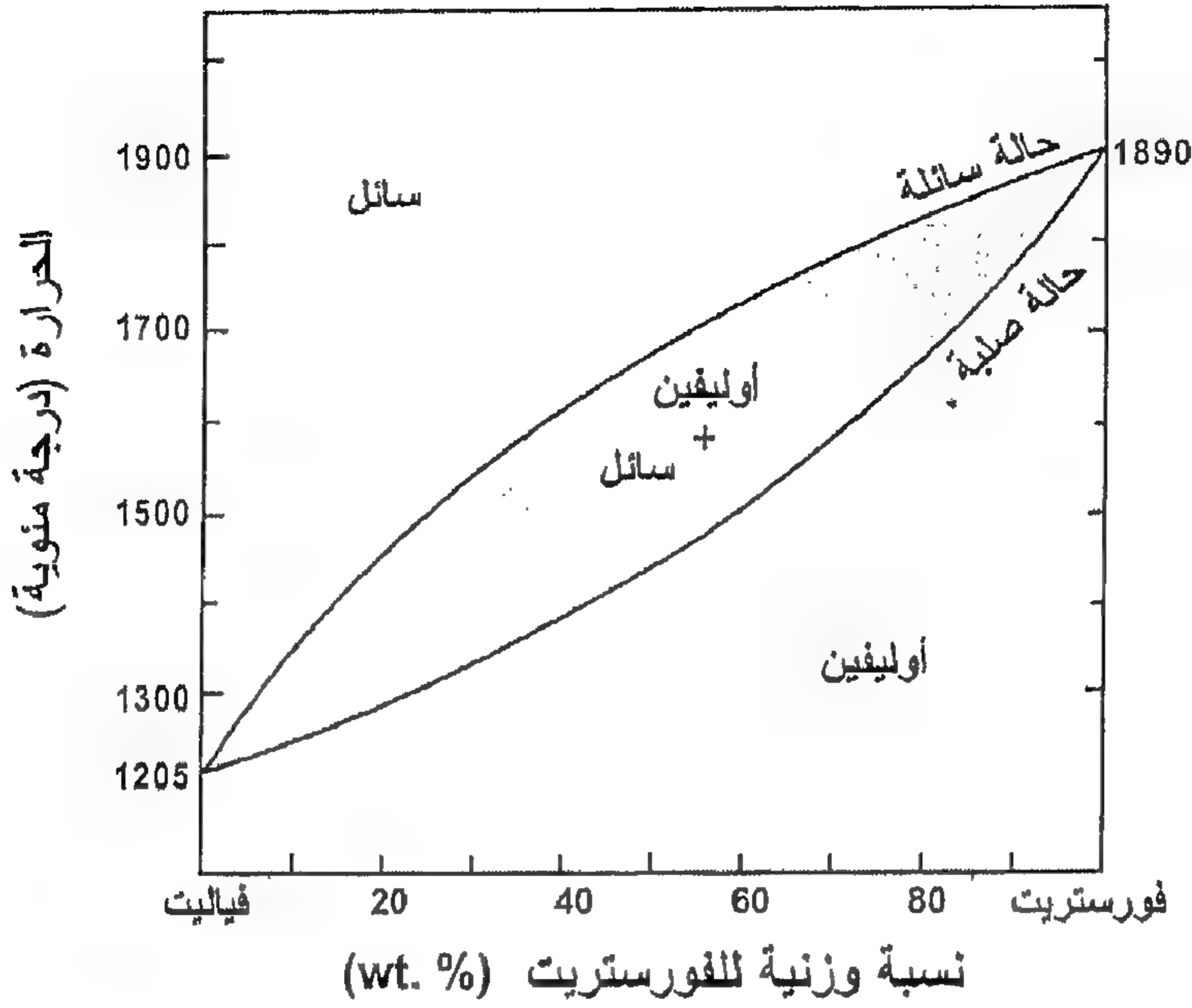
١,٠٠٢	١,٠٠٢	١,٠١٩	١,٠٢	Si
٠,٠٠٣	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Ti
٠,٠٠٢	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Al
١,٨٤٥	٠,٢٦٩	٠,٠٥٤	٠,٠٨	Fe ²⁺
٠,٠٤٨	٠,٠٠٧	٠,٠٠	٠,٠١	Mn
٠,٠٨٦	١,٧٢٩	١,٩٠٩	١,٨٧	Mg
٠,٠٠٧	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Ca

١ = فورستريت بالصخور الرسوبية المتحولة metasediments بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (عن دروب والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٢ = فورستريت بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (عن دروب والفيلاي ١٩٨٩ Droop and Al-Filali).

٣ = فورستريت بصخور الدونيت بمنطقة عكارم، مصر (عن حلمي وموجيسي ٢٠٠١ Helmy and Mogessie).

٤ = فياليت بصخور النيازك بمنطقة ميلر رينج (Antarctic meteorite, Miller Range (MIL) عن داي وآخرون ٢٠٠٦ Day et al.).



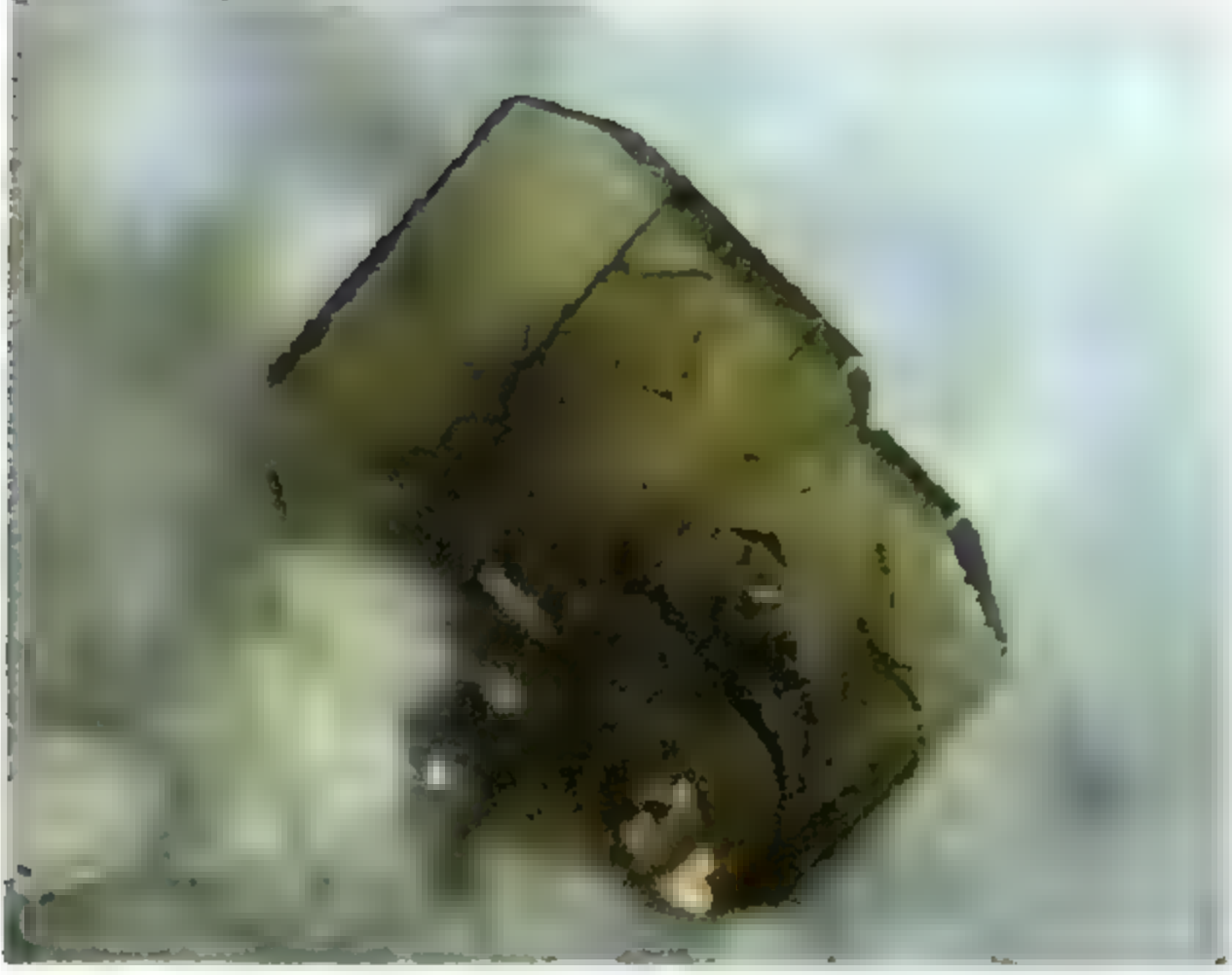
شكل ٢-٣: مخطط الصنف للأوليفين عند ضغط الغلاف الجوي (عن براون وشايرير ١٩٣٢).
(Brown and Shairer).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

اللون أخضر إلى أخضر مصفر أو بني مخضر إلى أسود (شكل ٢-٤). كما يمكن أن يوجد الفلورستريت النقي كمعدن عديم اللون، بينما يُميز اللون البني المخضر إلى الأسود معدن الفياليت النقي. البريق زجاجي والمخدش أبيض والمعادن شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٦,٥ و ٧ والإنقسام ضعيف في اتجاهين بينهما زاوية ٩٠° ويظهر بوضوح في الفياليت. المكسر محاري والوزن النوعي حوالي ٣,٢ للفلورستريت و ٤,٣ للفياليت. تحت الميكروسكوب، يُظهر كلا المعدنين تضاريس عالية موجبة. تتغير معاملات الإنكسار وقرينة الإنكسار المزدوج والزاوية البصرية مع تغير نسبة الحديد (شكل ٢-٥). المعادن ثنائية المحور (موجب أو سالب) وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا $\alpha = 1,636 - 1,827$ وبيتا $\beta = 1,651 -$

١,٨٦٩ وجاما $(\gamma) = 1,669 - 1,879$ وقرينة الإنكسار المزدوج $(\delta) = -0,033$ -
 ٠,٠٥٢ والزاوية البصرية $(2V) = 46 - 98^\circ$.

(ب)



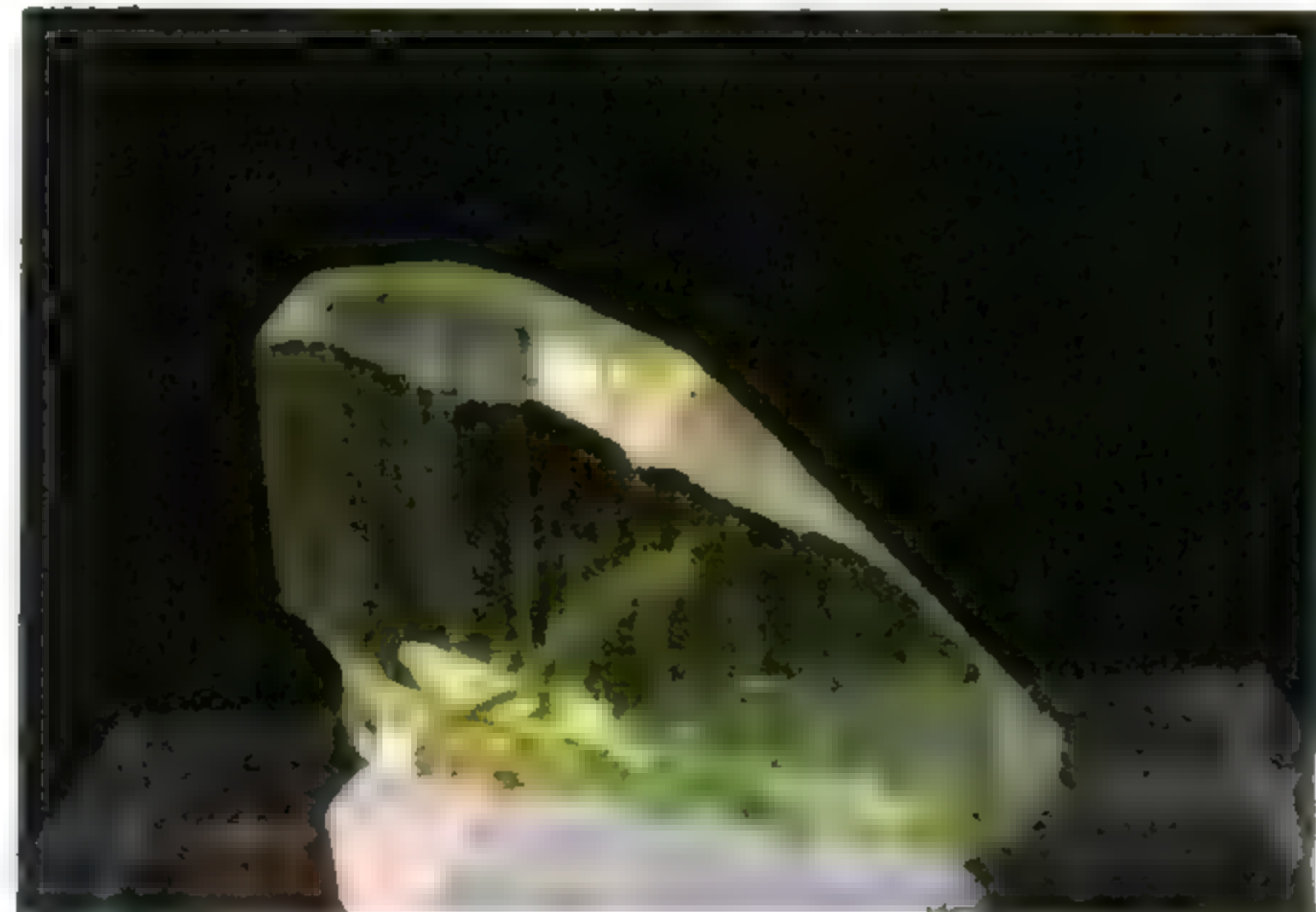
(أ)



(د)



(ج)



شكل ٢-٤: (أ) بلورتان من الفورستريت أخضر اللون ، باكستان (٣x٣x٢ سم) (www.italianminerals.com/ASIA/Forsterite.html). (ب) بلورة من الفياليت ذات لون بني على معدن الكريستوباليت من كاليفورنيا (© Lou Perloff / Photo Atlas of Minerals). (ج) فورستريت شفاف من جزيرة الزبرجد بالبحر الأحمر، مصر (٤x١,٢x٠,٣ سم) (http://www.fabreminerals.com). (د) ألوان التداخل من الرتبة الثانية إلى الثالثة والمميزة لمعادن الأوليفين.

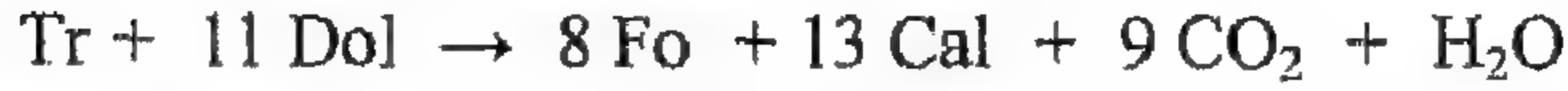
التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

توجد معادن الأوليفين بالصخور النارية فوق المافية والمافية، كما توجد أيضاً بالصخور المتحولة. يعتبر الفياليت أقل الأنواع إنتشاراً. يكثر وجود الفورستريت بالصخور الكربوناتية المتحولة حيث يتكون من تفاعل تلك مع الماجنيزيت أو مع الدولوميت أو تفاعل التريموليت مع الدولوميت كما هو واضح من المعادلات التالية:



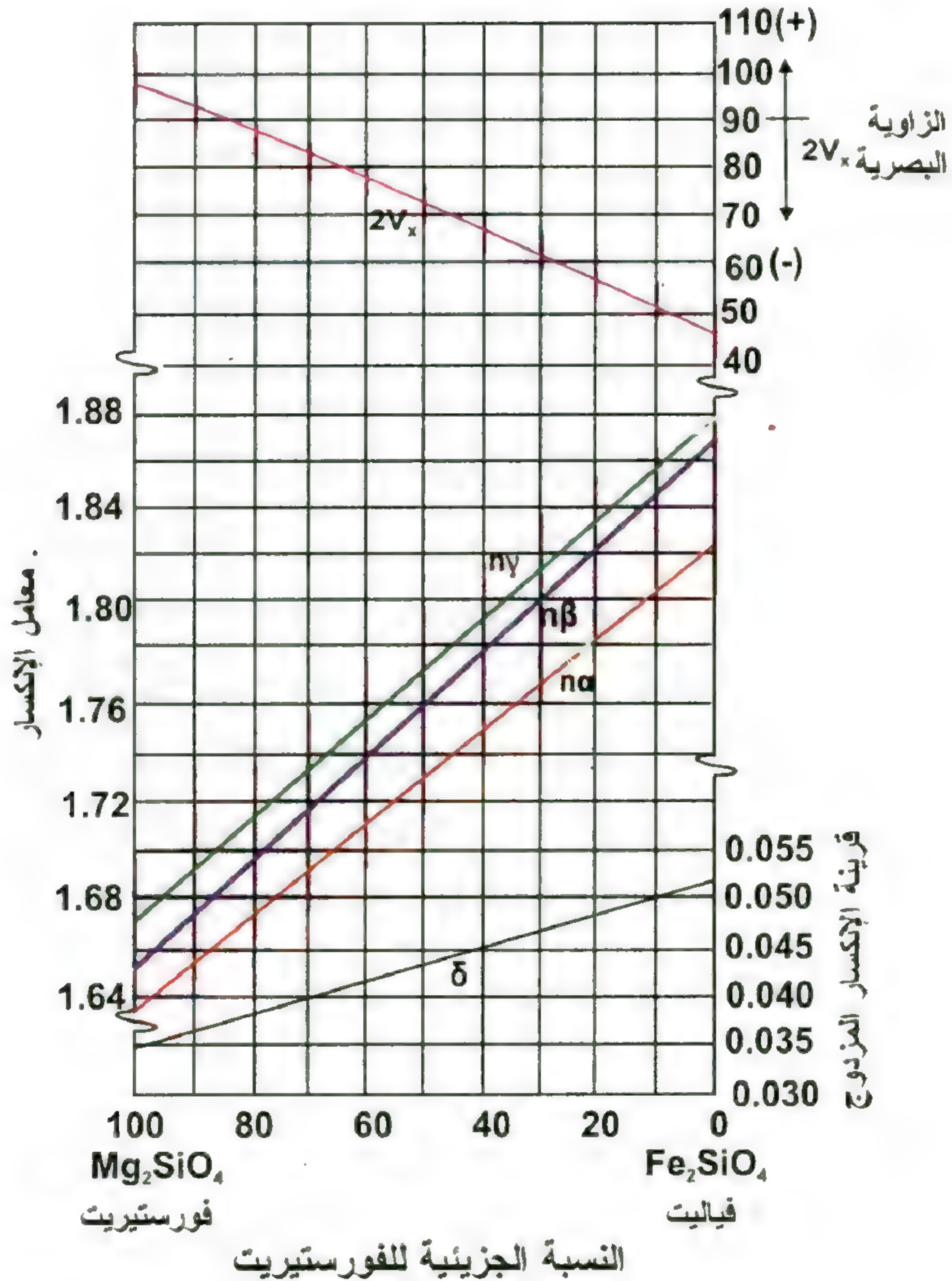


كالسيت فورشتريت دولوميت تلك



كالسيت فورشتريت دولوميت تريموليت

ومن أهم أماكن تواجد معادن الأوليفين: جزيرة الزبرجد بمصر حيث يتواجد بالعروق القاطعة للصخور فوق المافيه. كما يوجد ببورما (موجوك Mogok وميانمار Myanmar) وبجبال الأورال بروسيا وأريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية وجنوب أفريقيا وباكستان والنرويج والسويد وفرنسا وأستراليا والصين والبرازيل وألمانيا والمكسيك وأثيوبيا.



شكل ٢-٥: تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية بتغير النسبة الجزئية للفورستريت بسلسلة الفورستريت-الفالييت.

الاستخدامات Uses

تستخدم الأنواع النقية من الأوليفين والتي تسمى بيريدوت Peridot كحجر كريم، كما يستخدم الأوليفين كمادة تساعد على صهر المعادن في العديد من الصناعات كصناعة الحديد الصلب. كما يمكن استخدامه كمصدر للمغنسيوم.

مجموعة الجارنت Garnet group

يرجع الاسم إلى الكلمة اللاتينية *granatium* والتي تعني شجرة الرمان وذلك للتشابه بين بلورات الجارنت الصغيرة الحمراء وحبيبات الرمان. مع الوقت تم تحويل الاسم بنقل بعض حروفه إلى كلمة جارنت Garnet.

البنية البلورية Crystal structure

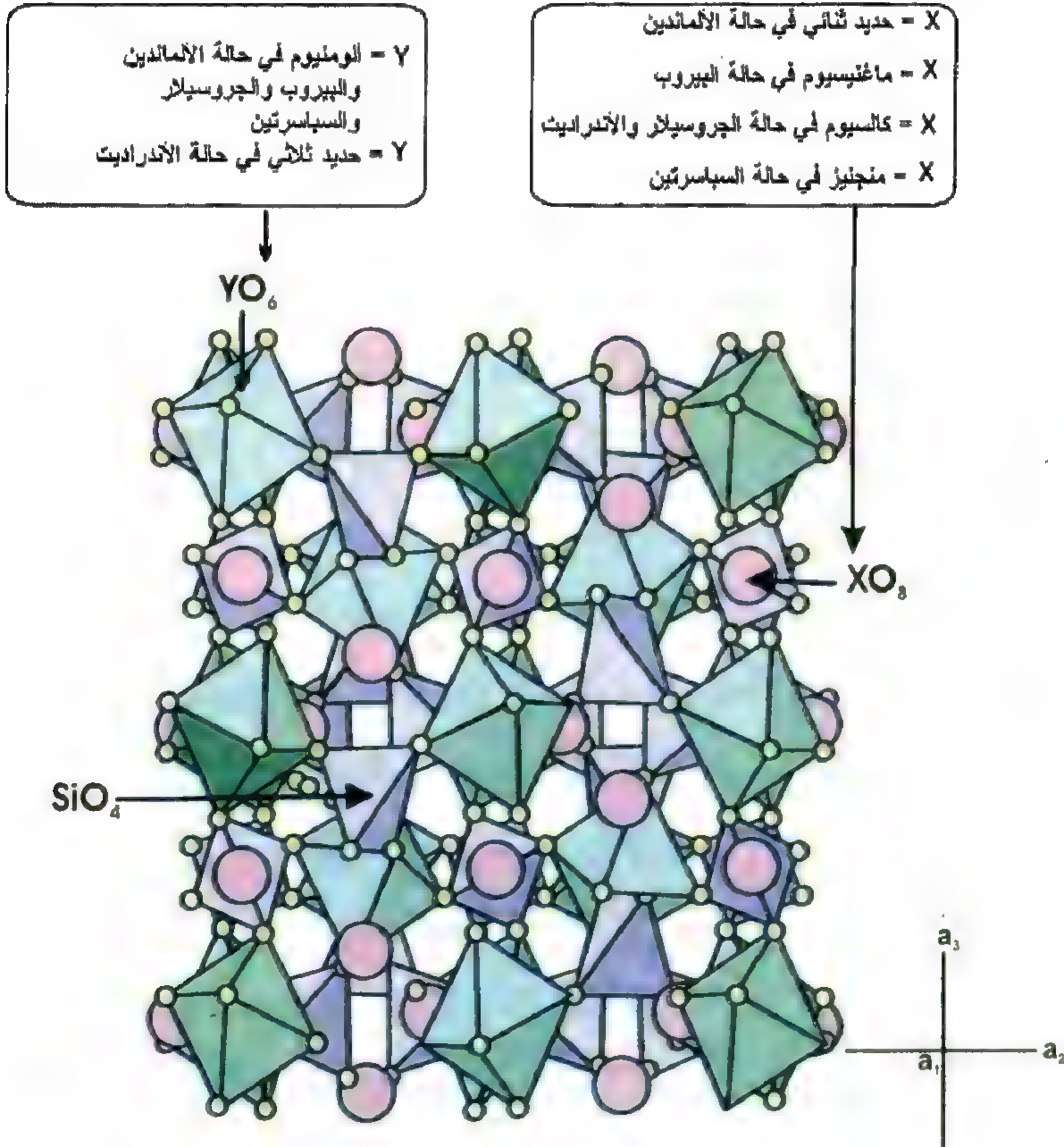
تتشابه البنية البلورية لمجموعة معادن الجارنت فيما بينها مما يؤدي إلى تكون بلورات متشابهة الشكل والصفات. تتبلور معادن الجارنت بفصيلة المكعب وينتج عنها بلورات مكعبية الشكل ومن أكثر الأشكال البلورية إنتشاراً للجارنت الإثنى عشر وجهاً المعينى Rhombic dodecahedron. أبعاد خلية الوحدة: $a = 11.46 - 12.92$ أنجستروم، مقدار ماتملكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 8$ ، مجموعة النقطة: $4/m\bar{3}2/m$. يمكن وصف البنية البلورية للجارنت على أنها شبكية ذات ثلاثة أبعاد مكونة من وحدات متبادلة لرباعي الأوجه السيليكاتى SiO_4 وثمانى الأوجه YO_6 (حيث $Y =$ الومنيوم أو حديد ثلاثى أو كروميوم). تتشابه هذه الوحدات مع بعضها من خلال الأركان (شكل ٢-٦). كما يوجد بالبنية الموقع XO_8 والذي يشغله كاتيونات ثنائية التكافؤ ($X =$ ماغنسيوم أو حديد ثنائى أو كالسيوم أو منجنيز). ومن أكثر معادن مجموعة الجارنت إنتشاراً:

Pyrope	بيروب	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
Almandine	الماندين	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
Spessartine	سباسرتين	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$
Grossular	جروسيالر	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$

أندراڨيت Andradite $\text{Ca}_3 \text{Fe}_2^{3+} \text{Si}_3 \text{O}_{12}$

يوفاروفيت Uvarovite $\text{Ca}_3 \text{Cr}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12}$

كما يوجد بعض الأنواع غير الشائعة والنادرة الوجود لمجموعة الجارنت وهي: كالديريت Calderite وجولدمانيت Goldmanite وهنريتميريت Henritermerite وهيبشيت Hipschite وكاتويت Katoit وكيمزيت Kimzeite وكنورينجيت Knorringite وماجوريت Majorite وموريموتيت Morimotoite وشورلوميت Shorlomite.



شكل ٢-٦: البنية البلورية لمعادن الجارنت.

كيميائية المعدن Mineral chemistry

تتمثل الصيغة الكيميائية العامة لمعادن الجارنت في: $\text{X}_3 \text{Y}_2 \text{Si}_3 \text{O}_{12}$ حيث:

$X =$ كاتيونات ثنائية التكافؤ مثل الحديد الثنائي والماغنسيوم والمنجنيز والكالسيوم

$Y =$ كاتيونات ثلاثية التكافؤ مثل الألومنيوم والحديد الثلاثي والكروميوم.

تمثل مجموعة معادن الجارنت نموذج جيد للمحالييل الصلبة ويرجع ذلك إلى عمليات إستبدال الكاتيونات المختلفة في البنية البلورية بالموقع XO_8 وتتمثل هذه الكاتيونات في الماغنسيوم والحديد الثنائي والمنجنيز والكالسيوم (جدول ٢-٣).

النطاقية بالجارنت Garnet zoning

يُظهر الجارنت عادةً نوع من النطاقية التركيبية والتي تنتج عن عمليات بطيئة من الإنتشار الأيوني بالشبكية البلورية للجارنت. تكثر النطاقية بالجارنت تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة حيث يكون اللب الداخلي للمعدن منعزل عن حوافه الخارجية. بينما في درجات الحرارة العالية، تتمكن الأيونات من الإنتشار خلال البلورة بالكامل وبالتالي ينتج تركيب متجانس للجارنت. بشكل عام، يمكننا القول بأن هناك نوعين من النطاقية بالجارنت:

١- نطاقية إنتشار Diffusional zoning، وفيها يحدث نوع من التحويل لجارنت سابق النشوء عن طريق تبادلات أيونية بينه وبين الوسط المحيط، ينتج عن ذلك تدرج في تركيب الجارنت من اللب الداخلي إلى حافة البلورة بحيث يكون هناك نضوب للماغنسيوم والحديد وإثراء للمنجنيز والكالسيوم عند حافة بلورة الجارنت (شكل ٢-٧). يوجد هذا النوع من النطاقية للجارنت عند درجات حرارة تزيد عن حوالي 600°C .

٢- نطاقية نمو Growth zoning، وفيها تضاف أغلفة أو نطاقات متتابعة لمكونات تعتمد في تركيبها على تركيب الوسط المحيط Matrix وحالة الإتزان بينهما. في مثل هذا النوع من النطاقية، يكون اللب لبلورة الجارنت غني بالمنجنيز و/أو الكالسيوم وتزداد نسبة الماغنسيوم والحديد في جهة حواف بلورة الجارنت (شكل ٢-٧ب). ينشأ هذا النوع من النطاقية في ظروف درجة حرارة أقل من 600°C .

جدول ٢-٣: التحليل الكيميائي للجارنت من مناطق مختلفة.

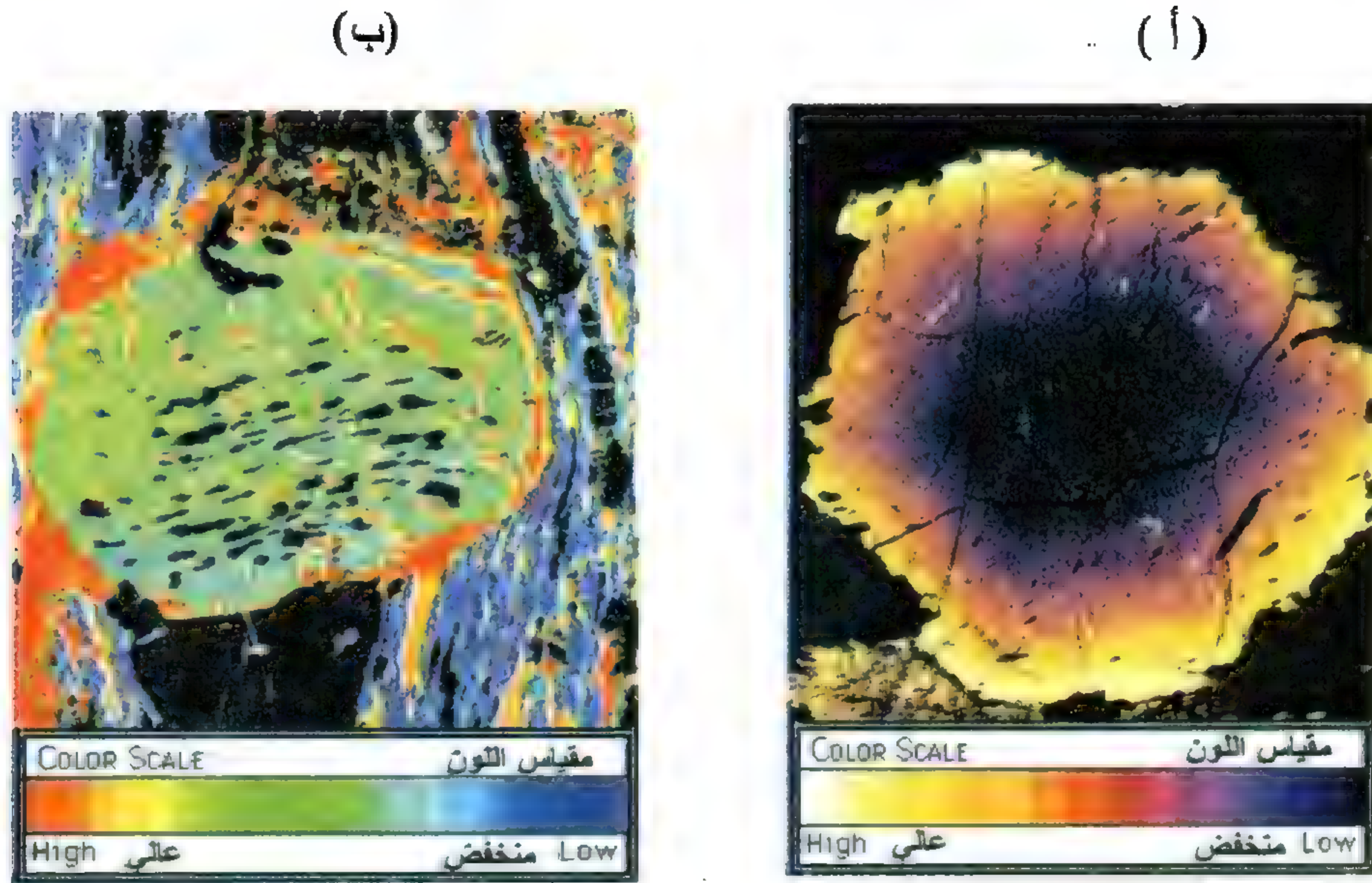
٤	٣	٢	١	
٢٧,٩٥	٢٨,٦٥٢	٣٦,٢٠	٤٠,٣٣	SiO ₂
٠,٠٣	٠,٠٠	٠,٥٤	٠,٠٠	TiO ₂
٢١,٣٠	٢١,٦٥٩	٥,٧١	٢١,٩٢	Al ₂ O ₃
٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٥	٠,١٨	Cr ₂ O ₃
٠,٠٠	٠,٠٠	٢٢,٥٤	١,٢٢	Fe ₂ O ₃
٢٧,٦٠	٢٧,١٩١	٤,٦٤	٠,٧٥	FeO
٢,٣٠	٧,١٩١	٠,١٦	٠,١٦	MnO
٥,١٦	٥,٥٧٨	٠,٠٤	٠,٣٢	MgO
٥,٦٢	١,٠٤٧	٣٠,٣٦	٣٦,٥٠	CaO
٩٩,٩٦	١٠١,٣	١٠٠,٢٤	١٠١,٣٩	المجموع
١٢ ذرة أكسجين				
٢,٩٨	٣,٠١٩	٢,٩٩	٣,٠٠	Si
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٣	٠,٠٠	Ti
١,٩٧	١,٩٩٢	٠,٥١	١,٩٢	Al
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠١	Cr
٠,٠٠	٠,٠٠	١,٤٤	٠,٠٧	Fe ³⁺
١,٨١	١,٧٧٦	٠,٢٧	٠,٠٥	Fe ²⁺
٠,١٥	٠,٤٧٦	٠,٠٠	٠,٠١	Mn
٠,٦٠	٠,٦٤٩	٠,١٢	٠,٠٣	Mg
٠,٤٧	٠,٠٨٨	٢,٧٣	٢,٩١	Ca
٥٨,٧٤	٥٩,٤٢	٠,٠٠	١,٥٥	الماندن
٢٠,٢٥	٢١,٧٣	١٥,٤٤	١,١٨٢	بازوب
١٢,٦١	٢,٩٣١	٢,٨٣٦	٩٢,٩٨٥	جروسيلاز
٥,١٣	١٥,٩١	٠,٣٥١	٠,٣٣٦	سباسرتين
٠,٠٠	٠,٠٠	٨١,٢٢	٣,٤١	أندرايت
٠,٠٠	١,٧٧٦	٠,١٥٤	٠,٥٢٩	يوفاروفيت

١ = جروسيلاز بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (عن دروب والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٢ = أندرايت بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (عن دروب والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٣ = الماندن بصخور الأمفيبوليت بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (عن الفيلاي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

٤ = الماندن بصخور الأمفيبوليت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عن عبد النبي وفريش ٢٠٠٠ Abd El-Naby and Frisch).



شكل ٢-٧: (أ) بلورة من الجارنت تظهر نطاقية لعنصر الكالسيوم (مساحة الصورة = ٢,٤٨ مم^٢).

(ب) بلورة من الجارنت تظهر نطاقية لعنصر الماغنسيوم (مساحة الصورة = ٤,٠٩٦ مم^٢).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

يختلف اللون من معدن لآخر حسب تركيبه الكيميائي، يكون اللون أحمر إلى بني محمر في حالة البيروب والألماندين والسباسرتين، وأحياناً أسود أو برتقالي أو وردي غامق أو بني (شكل ٢-٨). يكون الجروسيلار عديم اللون أو وردي أو بني ويتخذ الأندرايت لون أصفر ذهبي أو أخضر أو بني أو أسود ويكون اللون في اليوفارفيت أخضر فاتح. البريق زجاجي والمخدش أبيض اللون في جميع أنواع الجارنت. المعادن شفافة أو نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٦,٥ و ٧ والوزن النوعي بين ٣,١ و ٤,٢ اعتماداً على التركيب الكيميائي. تحت الميكروسكوب، يتشابه اللون مع ألوان العينات اليدوية ولكنها تكون شاحبة. التضاريس عالية موجبة. معظم معادن الجارنت أيزوتروبية (شكل ٢-٩) ولكن أحياناً يبدو الجروسيلار والأندرايت وبعض السباسرتين كمعادن غير أيزوتروبية. تختلف معاملات الانكسار لتلك المعادن حسب التركيب الكيميائي. كما يمكن الاعتماد على المعلومات التي نحصل

عليها من معاملات الإنكسار والوزن النوعي وأبعاد خلية الوحدة في معرفة تركيب الجارنت كما هو واضح من الشكل رقم (٢-١٠ أ، ب).

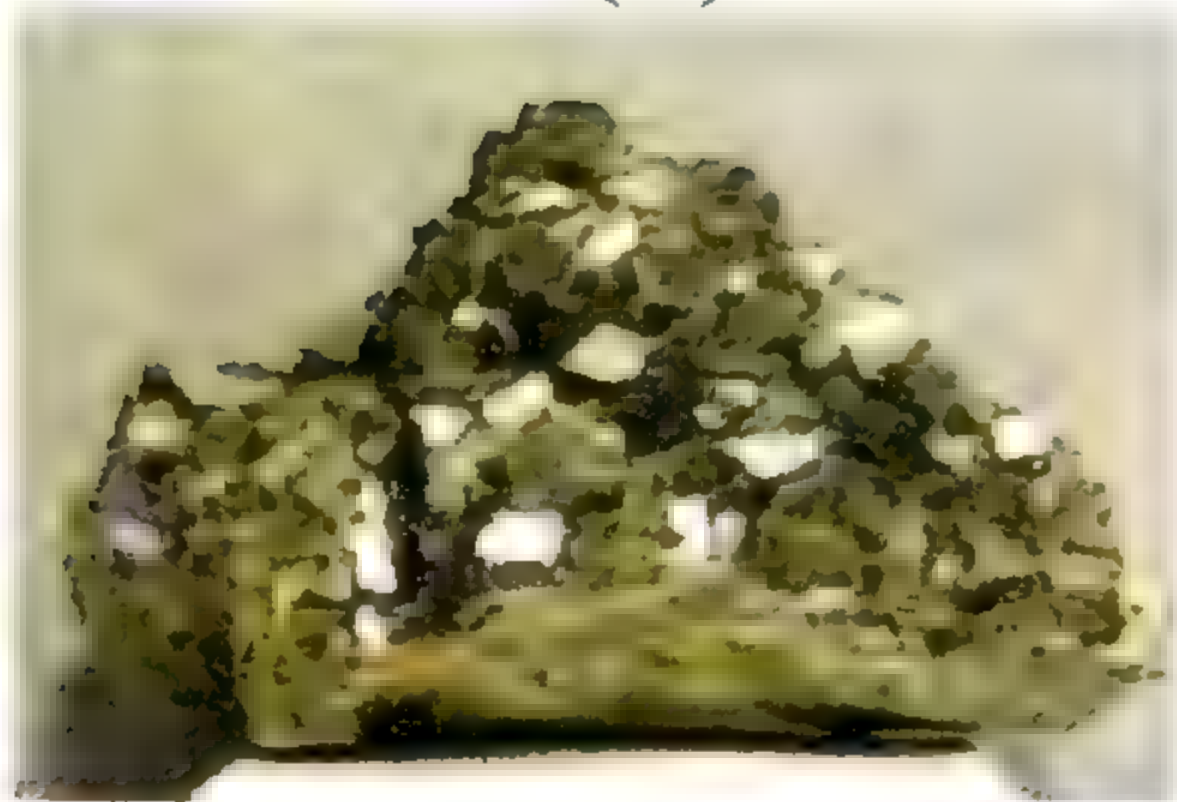
(ب)



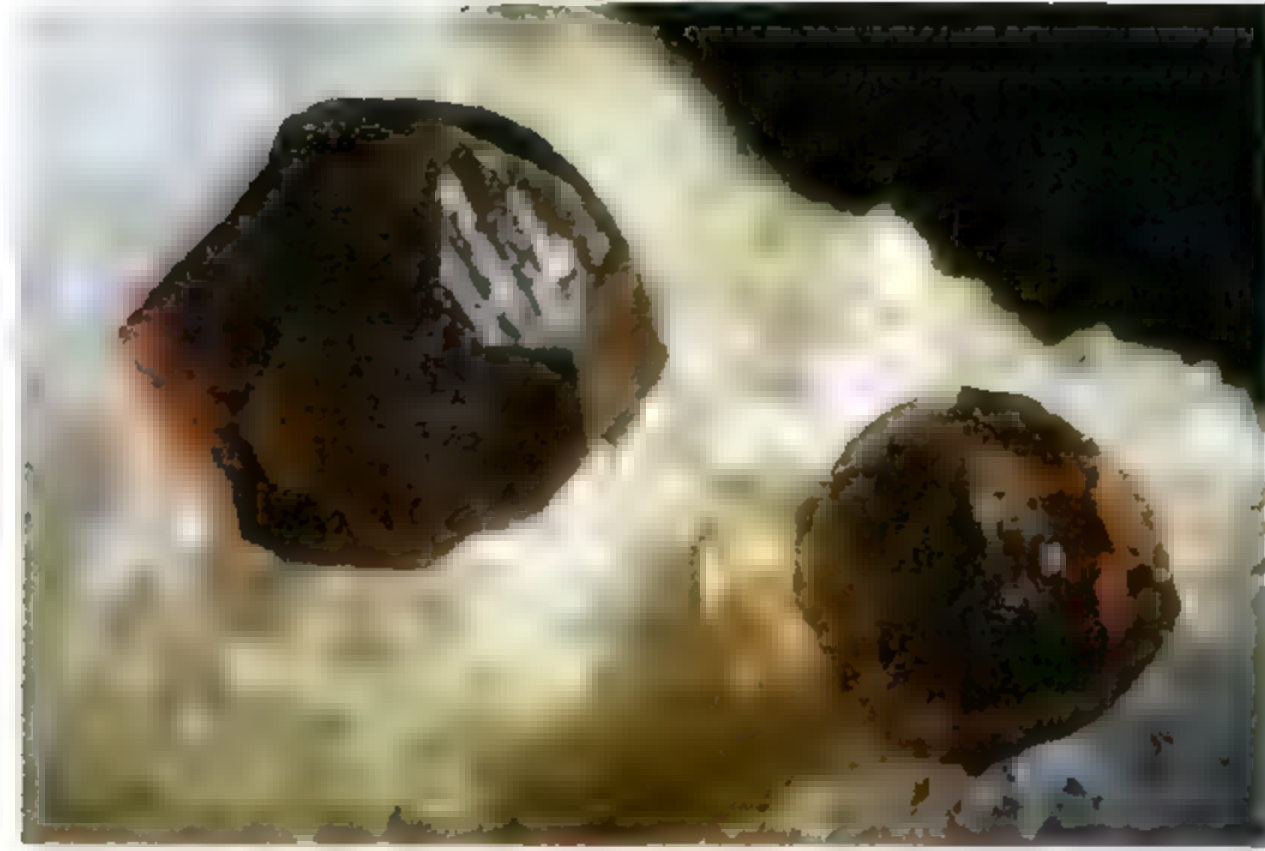
(د)



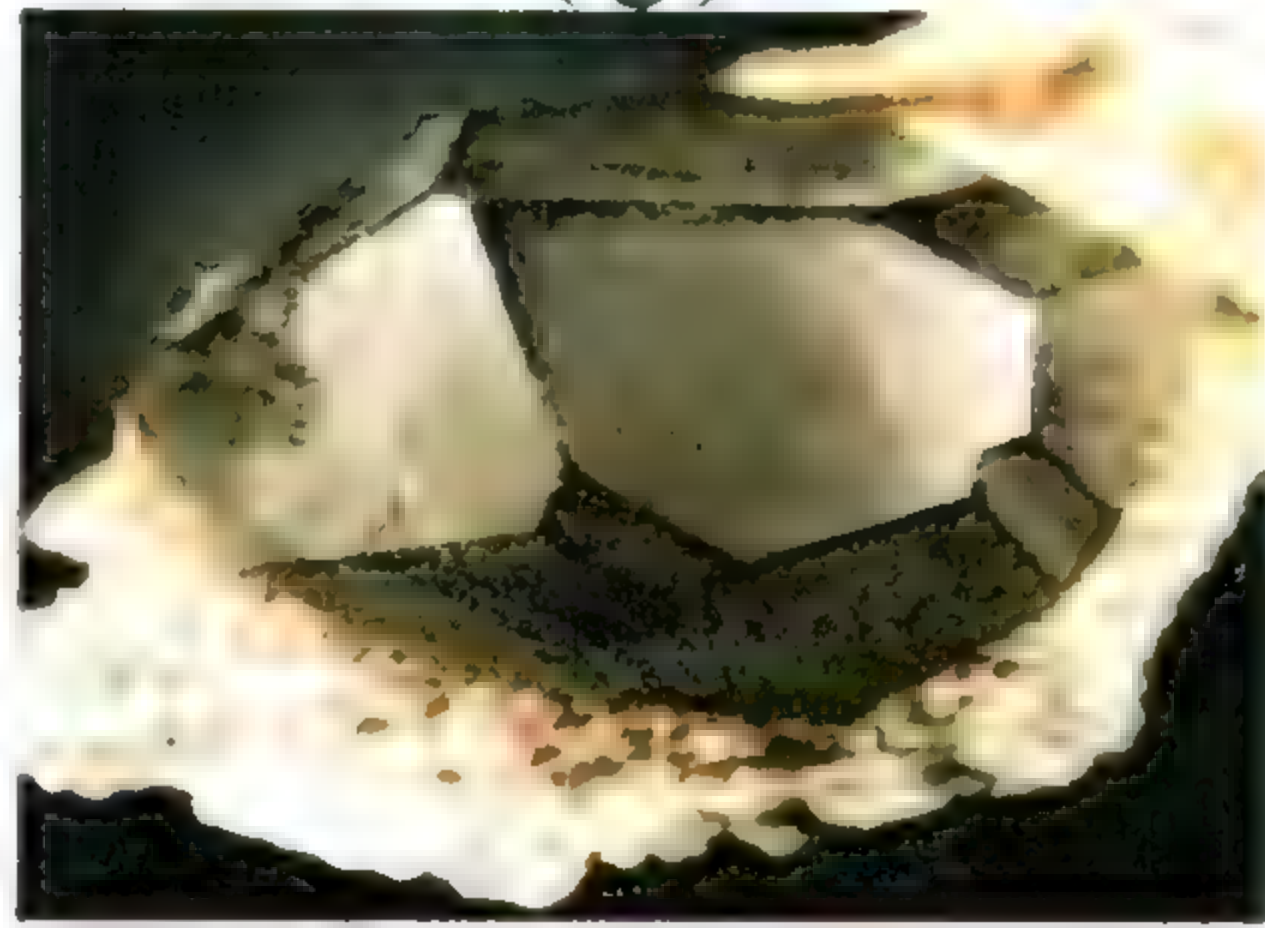
(و)



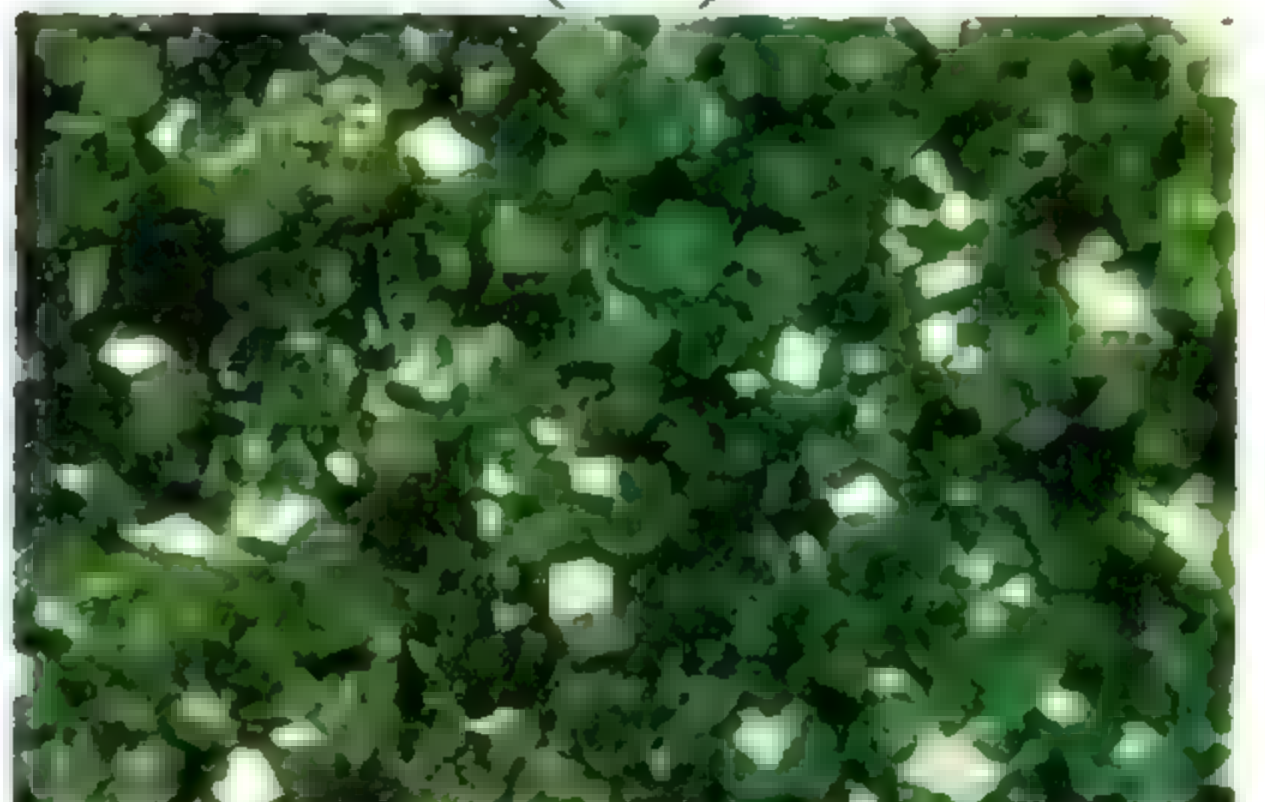
(أ)



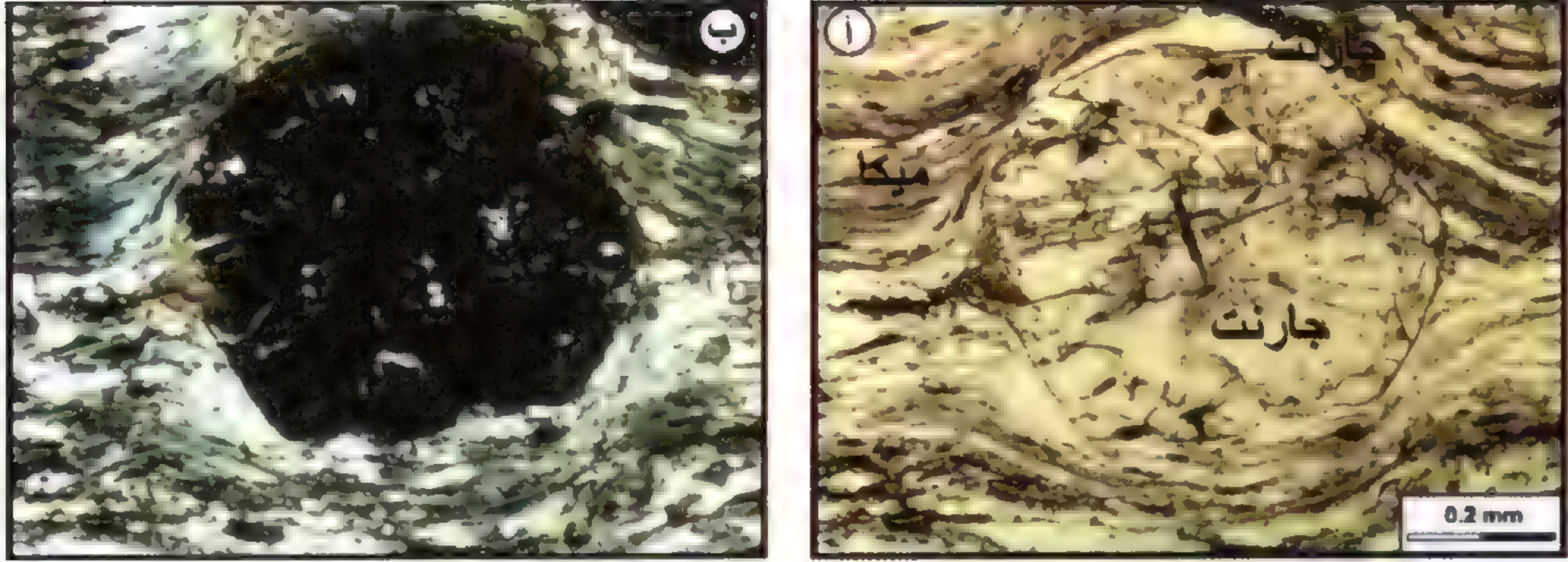
(ج)



(هـ)



شكل ٢-٨: (أ) بلوريتين من الألماندين البني المحمر من منجم فاني جورجى Fanny Gorge، الولايات المتحدة الأمريكية (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=21). (ب) جروسيلار وردي اللون. (ج) سباسرتين بني اللون (متحف أريزونا للمعادن Arizona Mining and Mineral Museum). (د) بلورة بيروب شفاقة وذات لون أحمر غامق من منطقة جوفيرنادور فالاداريس Governor Valadares (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1427). (هـ) يوفاروفيت أخضر اللون من منجم سارانوفيسكي Saranovskii Mine، روسيا (www.mindat.org/picshow.php?id=10413). (و) أندرايت أصفر ذهبي من منجم ستانلي باتي، أريزونا Stanley Butte, Arizona (<http://www.cs.cmu.edu/images/minerals/andradite.jpg>).



شكل ٢-٩: بيرفيروبلاست من الجارنت بصخور الشيست الميكاني بمنطقة وادي نجرس، الصحراء الشرقية، مصر. (أ) تحت الضوء المستقطب، (ب) تحت منشوري نيكول.

التواجدات والصحة المعدنية Occurrences and mineral association

يعتبر الجارنت من المعادن واسعة الانتشار، حيث يتواجد بشكل أساسي بالصخور المتحولة، كما يوجد في بعض الصخور النارية مثل الجرانيت المتكون غالباً من أصل رسوبي وكذلك في عروق البيجماتيت. يبدأ ظهور معادن الجارنت عند حوالي ٤٥٠ درجة مئوية في التحول الإقليمي للصخور البيليتية حسب التفاعل التالي:



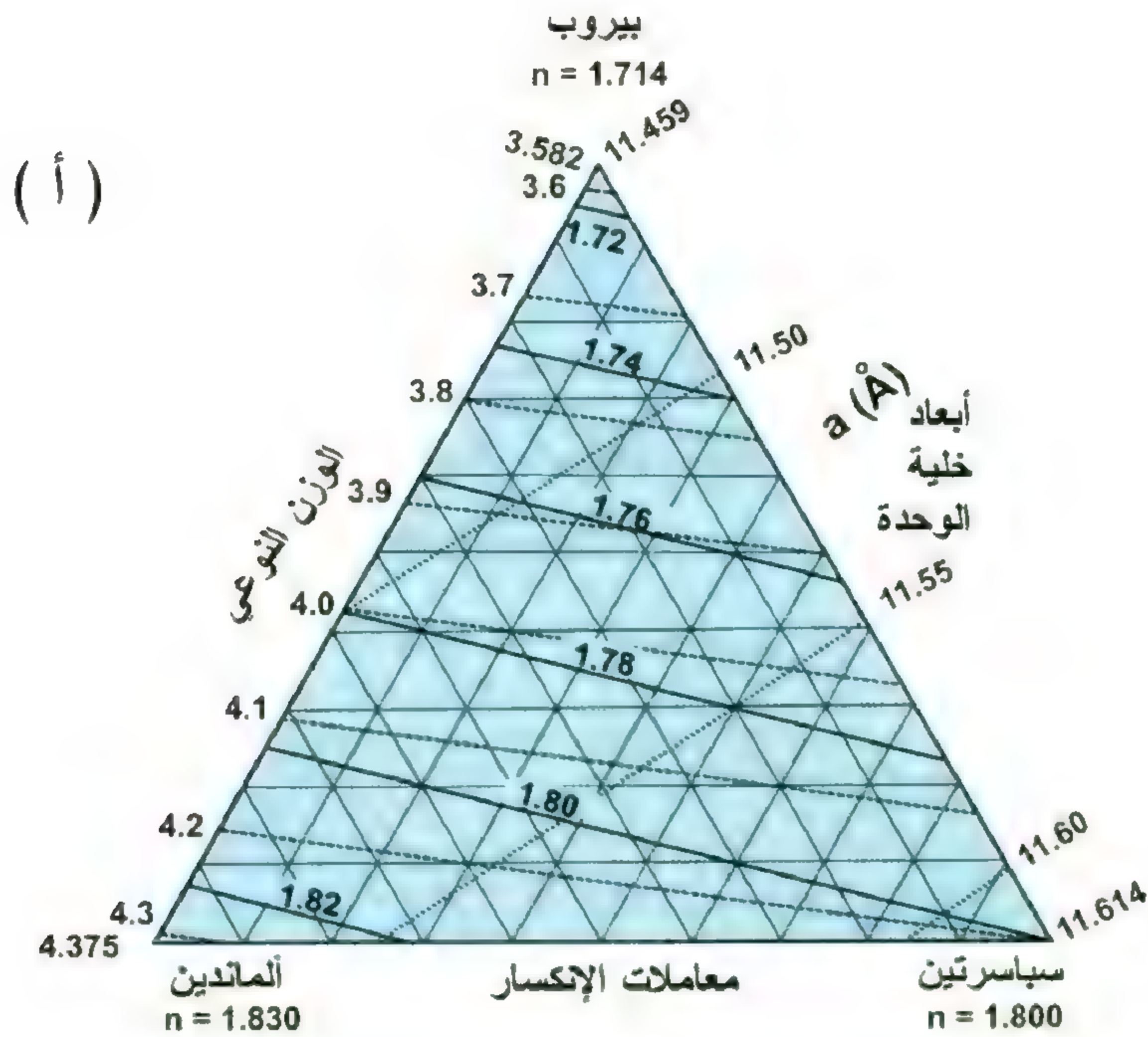
كما يصاحب الجروسيلار والأندراديت الصخور الجيرية المتحولة تلامسياً حيث يتكون الجروسيلار نتيجة تفاعل الأنورثيت مع الولاستونيت:



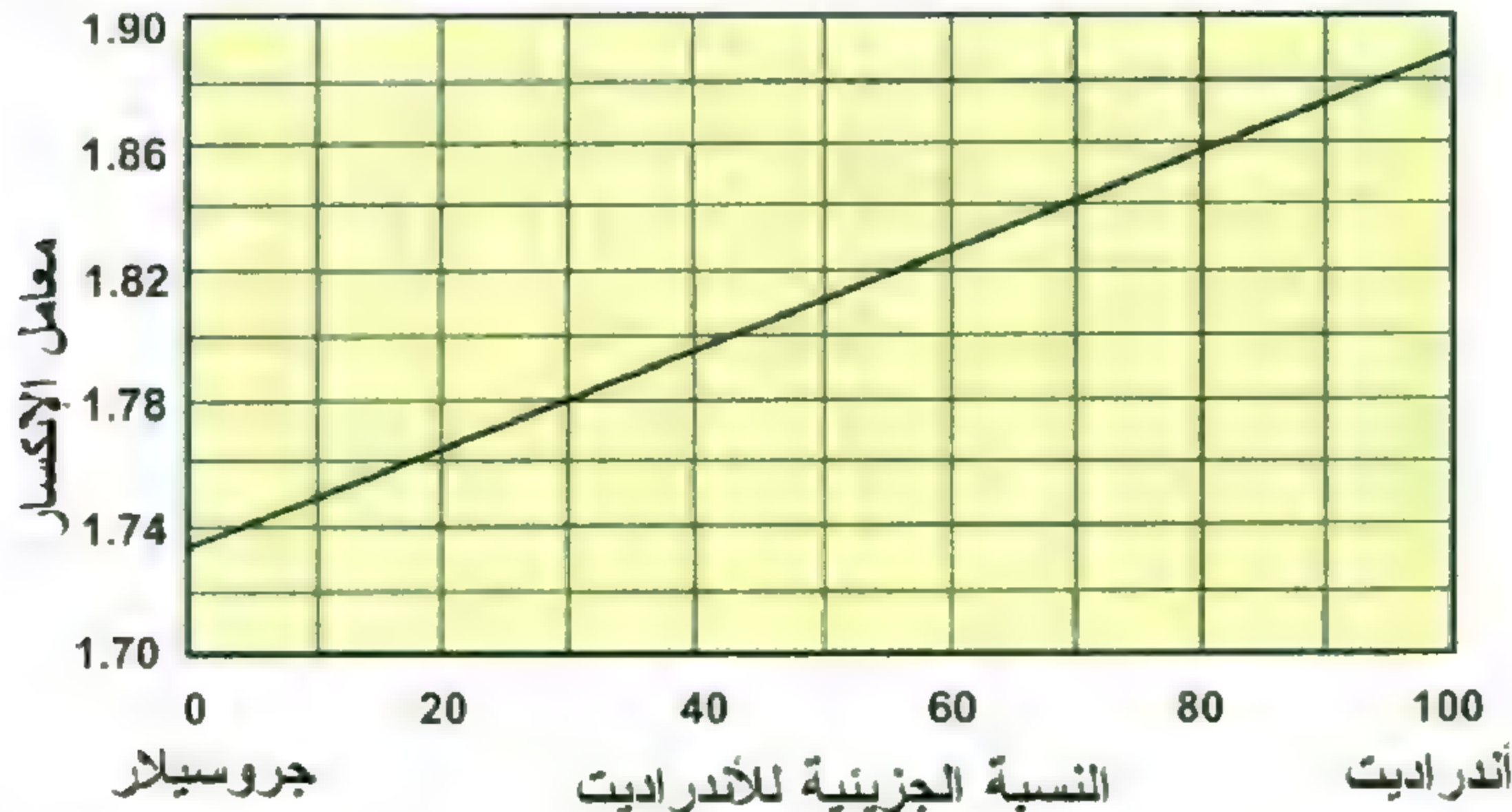
يكثر وجود الألماندين بصخور الشيست الميكاني والأمفيبوليت، بينما ينحصر تواجد البيروب بالصخور النارية فوق المافية وصخور السربنتينيت الناتجة عن تجويتها. أما السباسرتين والمعادن المحصورة بينه وبين الألماندين فإن وجودها يكثر بالصخور النارية الفلسية مثل البيجماتيت والجرانيت والريوليت. من المعادن المصاحبة للجارنت: الكالسيت والميكا والكلوريت والديوبسيد والأمفيبول والسربنتين والفلسبار والكوارتز والستوروليت. ومن أشهر أماكن تواجده: كندا والمكسيك وكينيا وإيطاليا وألمانيا ومدغشقر وروسيا وأمريكا. كما يكثر تواجد الجارنت بصخور الأمفيبوليت والشيست الميكاني بالدرع العربي النوبي (جدول ٢-٣).

الاستخدامات Uses

تستعمل بعض أنواع الجارنت كحجر شبه كريم. كما تستعمل كميات كبيرة منه في صناعة أحجار التجليخ وورق الصنفرة وأحجار الطحن والنشر وذلك نتيجة لصلادته العالية. كما يستخدم في بعض المواد المستخدمة في ترشيح المياه.



(ب)

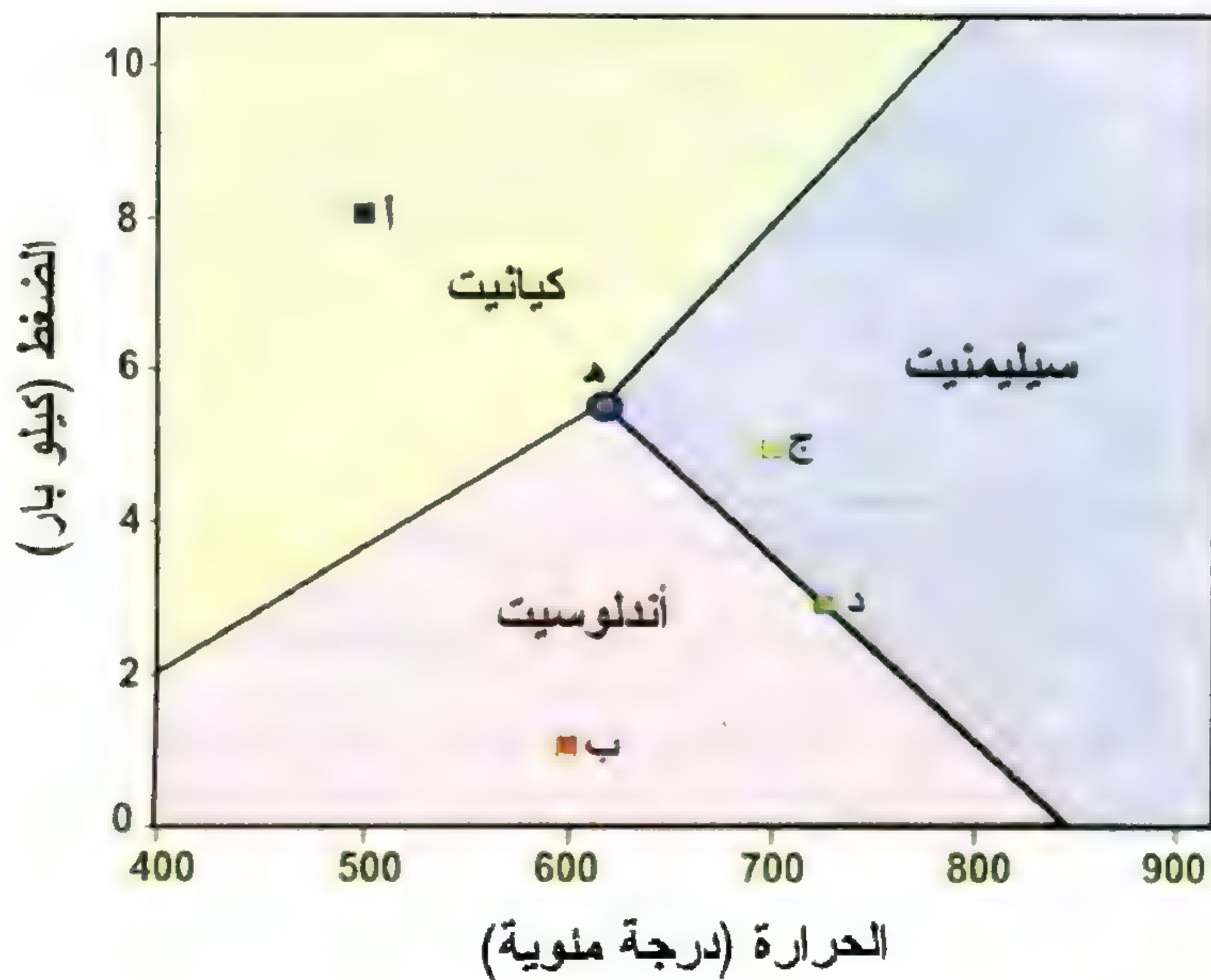


شكل ١٠-٢: (أ-ب) أبعاد خلايا الوحدة والوزن النوعي ومعاملات الانكسار للجارنت والتي يمكن من خلالها معرفة تركيبه ونوعه (فينشيل ١٩٥٨ Winchel).

معادن سيليكات الألومنيوم Aluminium silicate minerals أندلوسيت - سيليمينيت - كيانيت Andalusite-Silliminite-Kyanite

تتكون معادن سيليكات الألومنيوم تحت ظروف معينة من درجات الحرارة والضغط، وتكتسب تلك المعادن أهمية خاصة للباحثين في نشأة الصخور المتحولة وذلك لدورها كمعادن دالة على ظروف الضغط والحرارة (شكل ١١-٢)، حيث:

- يدل وجود الأندلوسيت في صخر متحول على ظروف منخفضة نسبياً من الحرارة والضغط.
- يميز الأندلوسيت بيئات التحول التلامسي للصخور الطفلية.
- يدل وجود الكيانيت في صخر متحول على ظروف ضغط مرتفع
- يدل وجود السيليمينيت بصخر متحول على ظروف عالية من درجة الحرارة. يتواجد السيليمينيت بصخور الشيست والنائيس الناجمة عن تداخلات نارية.



شكل ١١-٢ : مخطط الضغط والحرارة لمعادن سيليكات الألومنيوم Al_2SiO_5 (وينتر ٢٠٠١).

يوضح شكل (٢-١١) ظروف الضغط والحرارة لتكوين معادن سيليكات الألومنيوم وأيضاً الظروف التي يتحول عندها المعدن من صنف إلى آخر. فمثلاً عند درجة حرارة $= 500^{\circ}\text{C}$ وضغط $= 8$ كيلوبار (النقطة أ)، يصبح الكيانيت هو المعدن المستقر. بينما عند النقطة (ب) حيث درجة الحرارة $= 600^{\circ}\text{C}$ والضغط $= 1$ كيلوبار، يصبح الأندلوسيت الصنف المستقر. وعند النقطة (ج) حيث درجة الحرارة $= 700^{\circ}\text{C}$ وضغط $= 5$ كيلوبار، يصبح السيليمنيت أكثر استقراراً. ويمكن أن يتواجد أكثر من معدن من معادن سيليكات الألومنيوم سوياً، فمثلاً عند النقطة (د) يتواجد السيليمنيت والأندلوسيت تحت ظروف معينة من الضغط والحرارة، كما يمكن أن يتواجد أيضاً السيليمنيت والكيانيت أو الكيانيت والأندلوسيت سوياً. ومن الممكن أن يتواجد الثلاث معادن سوياً عند النقطة الثلاثية (هـ) حيث تصل درجة الحرارة حوالي 620°C ويصل الضغط إلى حوالي 5 كيلوبار. كما تصبح معادن سيليكات الألومنيوم غير مستقرة عند درجات حرارة أقل من 300°C .

البنية البلورية Crystal structure

تتكون البنية البلورية لمعادن سيليكات الألومنيوم من سلاسل من ثماني الأوجه الألومنيومي مرتبطة ببعضها من خلال حوافها Edge-sharing ومتصلة جانبياً عن طريق أيونات السيليكون والألومنيوم. تختلف البنية البلورية من معدن إلى آخر في عدد تناسق ذرات الألومنيوم والشكل الهندسي للسلسلة وكيفية إتصال السلاسل ببعضها البعض. في حالة الأندلوسيت، تتكون البنية البلورية من سلاسل Chains لثمانى الأوجه الألومنيومي ذو تناسق سداسي (AlO_6) موازية للمحور البلوري "c"، تتصل هذه السلاسل ببعضها عن طريق رباعي الأوجه السيليكاتي (SiO_4) ومتعدد الأوجه (AlO_5) (رباعي أوجه مشوه به ألومنيوم ذو تناسق خماسي) (شكل ٢-١٢). في حالة الكيانيت، تتكون البنية البلورية من سلاسل ثمانى الأوجه الألومنيومي (AlO_6) متصلة ببعضها البعض عن طريق وحدات إضافية من ثمانى الأوجه الألومنيومي (AlO_6) ووحدات رباعي الأوجه السيليكاتي (SiO_4). وفي حالة

متعدد الأوجه الألومنيومي (AlO_3)

ثمانتي الأوجه الألومنيومي (AlO_3)

رباعي الأوجه الألومنيومي (AlO_3)

رباعي الأوجه السيليكاتي (SiO_4)

اندلسيت

كيانيت

سيلمينيت

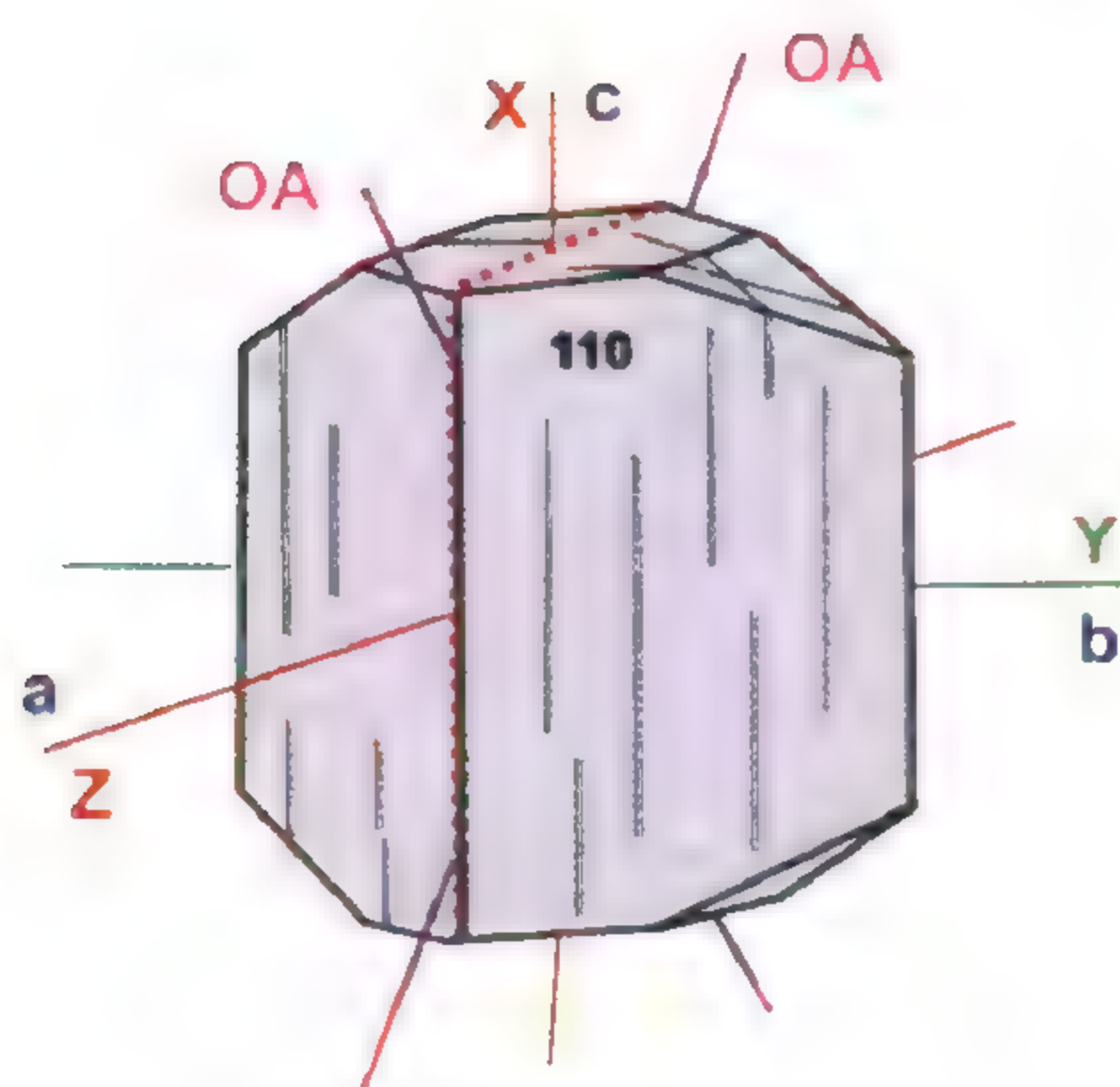
شكل ٢-١٢: البنية البلورية لمعادن سيليكات الألومنيوم.

$$\text{Al}_2\text{SiO}_5$$

أُشتق الاسم من إحدى المقاطعات الأسبانية وتسمى أندلوسيا *Andalusia*.

الصفات البلورية Crystal characteristics

يتبلور المعدن بفصيلة المعيني القائم،
أبعاد خلية الوحدة: $a = 7,78$ ، $b = 7,92$ ،
ج = $5,07$ أنجستروم (شكل ٢-١٣)، مقدار
ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 4$ ،
مجموعة النقطة: $2/m2/m2/m$ والمجموعة
الفراغية: $p2_1/n2_1/n2/m$. يتواجد المعدن على
هيئة بلورات منشورية ذات مقطع عرضي
مربع ومنتهية بمسطوح. توجد أيضاً



شكل ٢-١٣: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الأندلسيت، كما يظهر في الشكل إتجاه المحاورين البصريين OA .

البلورات على شكل كتلي وحبيبي. يتكون المعدن من سيليكات الألومنيوم النقية مع وجود كميات بسيطة من المنجنيز والحديد والكروميوم والتيتانيوم (جدول ٢-٤).

جدول ٢-٤: التحليل الكيميائي لمعادن سيليكات الألومنيوم من مناطق مختلفة.

١	٢	٣	٤
٣٦,٧٨	٣٦,٧٩	٣٦,٦٨	٣٦,٥١
٠,٠٣	٠,٠٣	٠,٠٠	٠,١٨
٦٢,٨٦	٦٣,٠٦	٦٢,٦٤	٦٢,٢٦
٠,١٧	٠,٨٠	٠,١٧	٠,٩٦
٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,١٠
٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٩
٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٠
٩٩,٨٨	١٠٠,٦٥	٩٩,٥٣	١٠٠,١٠

٢٠ ذرة أكسجين

٣,٩٧٨	٣,٩٥٤	٣,٩٨١	٣,٩٥٤
٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠	٠,٠١٥
٨,٠١٥	٧,٩٨٢	٨,٠١٤	٧,٩٤٠
٠,٠١٤	٠,٠٦٥	٠,٠١٣	٠,٠٧٨
٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٢	٠,٠٠٩
٠,٠٠٢	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠	٠,٠١٥
٠,٠٠٢	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠
٠,٠٠١	٠,٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٠

١ = أندلوسيت من منطقة مازارون باسبانيا (سيسار وآخرون ٢٠٠٢ Cesare et al.).

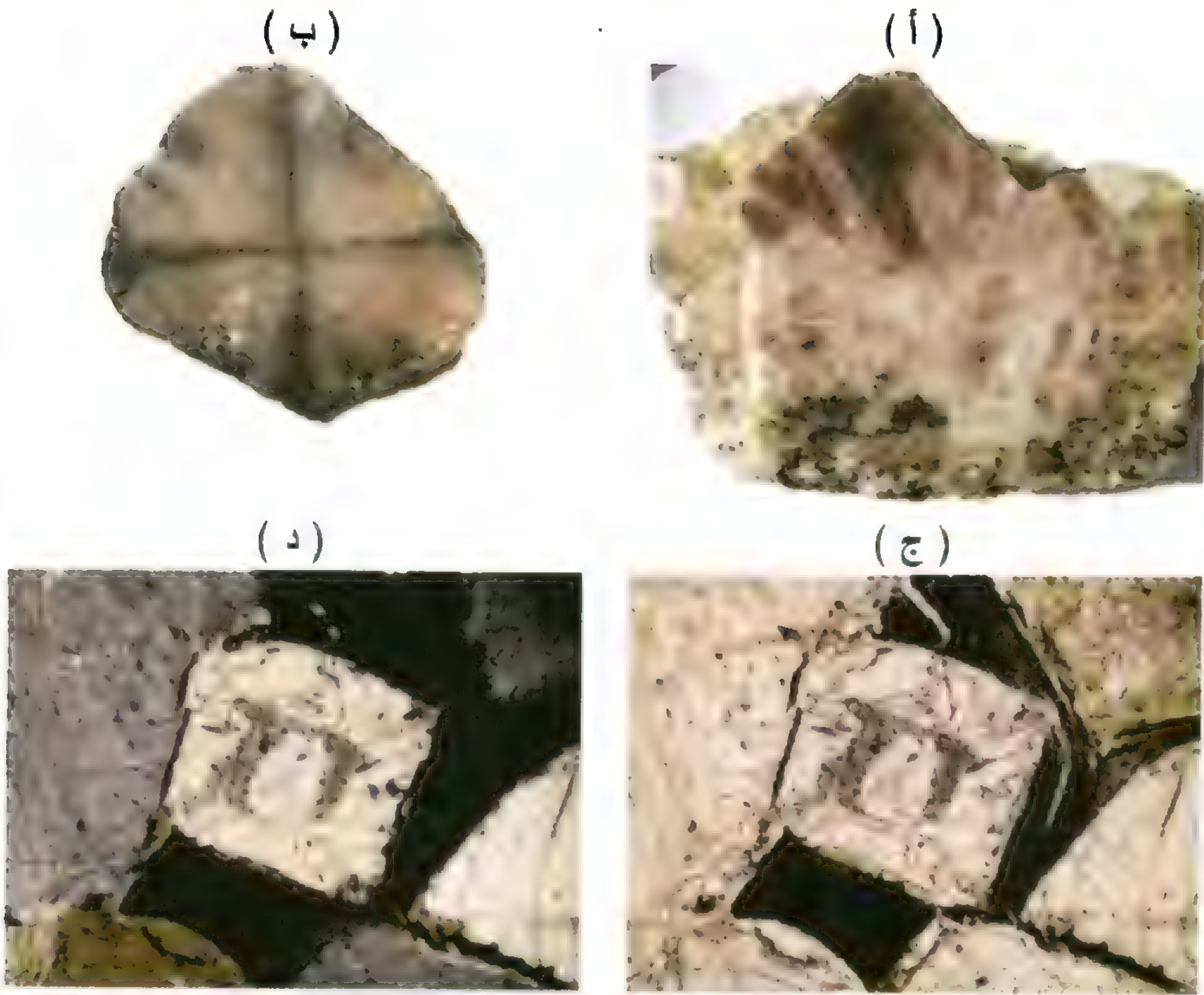
٢ = كيانيت من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

٣ = سيليمينيت من منطقة مازارون باسبانيا (سيسار وآخرون ٢٠٠٢ Cesare et al.).

٤ = سيليمينيت من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

المعدن أبيض اللون أو أحمر أو بني أو برتقالي أو أخضر (شكل ٢-١٤). البريق زجاجي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٧,٥ والوزن النوعي حوالي ٣,١٥. الانفصام جيد في اتجاهين بينهما زاوية ٩٠° تقريباً. تحت الميكروسكوب، يظهر المعدن عديم اللون



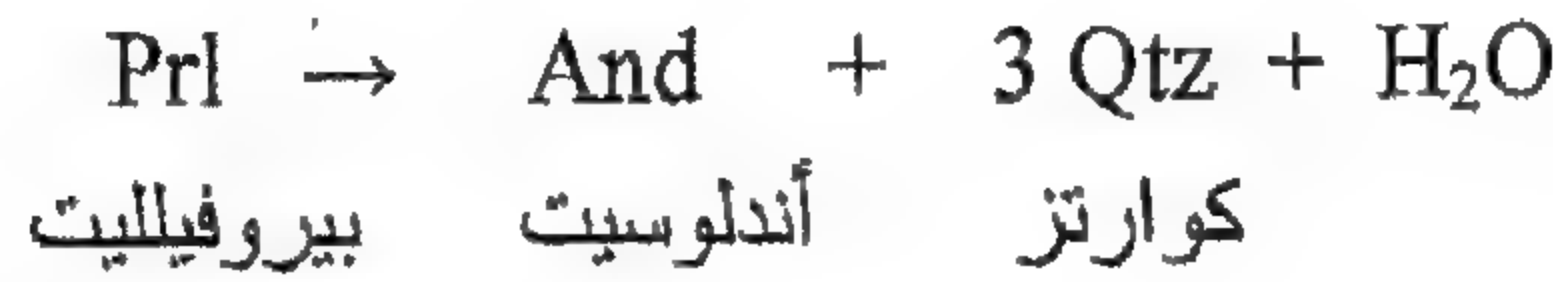
شكل ٢-١٤: (أ) أندلسيت محمر اللون بعرق كوارتز بمنطقة حمادان، إيران (سباهي وآخرون ٢٠٠٤). (ب) كياستوليت Chialstolite (نوع من الأندلسيت) يحتوى على شوائب كربونية سوداء اللون مرتبة على هيئة صليب، (ج) أندلسيت تحت الضوء المستقطب يحتوى على مكثفات من معادن معتممة. (د) أندلسيت بالصورة "ج" تحت منشوري نيكول (<http://www.geo.umn.edu/orgs/whitney/andalusite.htm>)

ونادراً باللون الوردي. كما يظهر المعدن تغير لوني ضعيف. التضاريس متوسطة إلى عالية موجبة. التوأمية نادرة. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1,632$ وبيتا $\beta = 1,640$ وجاما $\gamma = 1,642$.

قرينة الإنكسار المزدوج $(\delta) = 0.009 - 0.013$ والزاوية البصرية $(2V) = 71-88^\circ$.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد الأندلوسيت بالصخور الطينية التي تعرضت للتحويل التلامسي من جراء تداخل أجسام نارية. يتكون الأندلوسيت من تحول البيروفيلايت عند درجة حرارة حوالى ٤٠٠ درجة مئوية وضغط أكبر من ٢,٧ كيلوبار حسب التفاعل التالي:

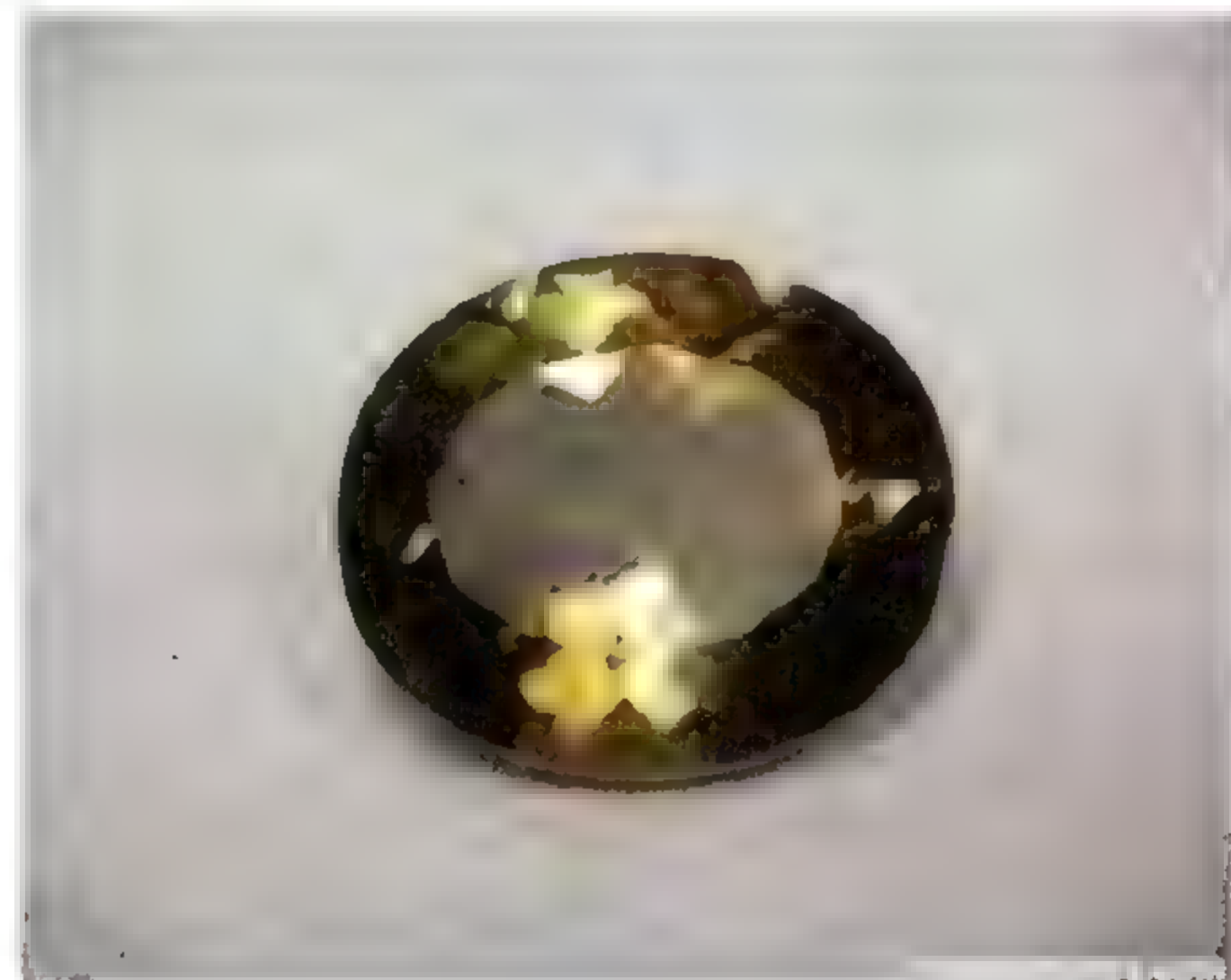


من أشهر أماكن تواجده: جزيرة أندلوسيا بأسبانيا وفي النمسا والبرازيل وفى العديد من الأماكن بالولايات المتحدة الأمريكية مثل كاليفورنيا وبنسلفانيا. توجد بلورات الكياستوليت الواضحة (شكل ٢-١٤ب) بجنوب أستراليا. تُنتج جنوب أفريقيا ما يزيد عن ٥٠ مليون طن من سيليكات الألومنيوم ويمثل ذلك ٤٠% من إحتياطيات العالم من تلك المعادن. يوجد الأندلوسيت بصخور البيجماتيت بمنطقة اداواديم Adawadim وصخور الهورنفلز بمنطقة وادى مريبط Wadi Marbat بالمملكة العربية السعودية.

(ب)



(أ)



شكل ٢-١٥: (أ) حجر كريم من الأندلوسيت (٦x٨ مم) مستخرج من الهند. تُظهر العينة عرضاً للألوان من البرتقالي إلى الأخضر حسب الإضاءة وتوجيه العينة. (ب) حجر كريم من الأندلوسيت (٨x١٠ مم) المستخرج من البرازيل. تُظهر العينة عرضاً للألوان من البرتقالي المحمر إلى الأخضر حسب الإضاءة وتوجيه العينة (mineralminers.com).

الاستخدامات Uses

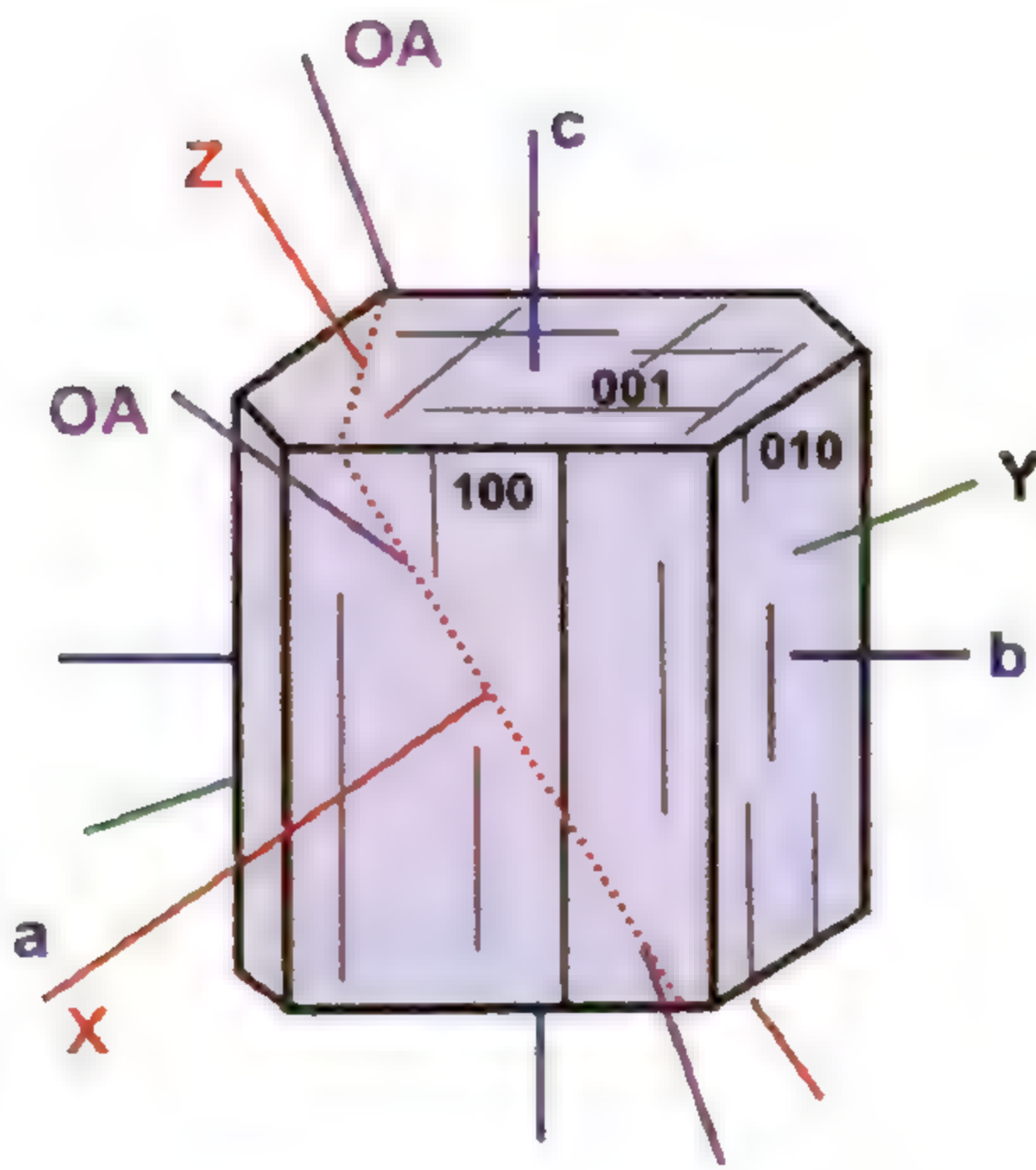
يستعمل الأندلوسيت فى صناعة الطوب الحرارى. كما تستعمل العينات الجيدة منه كأحجار كريمة (شكل ٢-١٥).

الكينيت Kyanite



يأتى اسم الكينيت من الكلمة الإغريقية *Kyanos* والتي تعنى أزرق اللون. يعتبر الكينيت من المعادن الجذابة وذلك لتشابه لونه مع لون الياقوت الأزرق. كما أن للمعدن صفة مميزة عن المعادن الأخرى وهى الصلادة المتغيرة بالبلورة الواحدة.

الصفات البلورية Crystal characteristics



شكل ٢-١٦: العلاقة بين المحاور البلورية c, b, a ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الكينيت. كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة. أبعاد خلية الوحدة: $a = 7.10$, $b = 7.74$, $c = 5.57$ أنجستروم (شكل ٢-١٦). وتبلغ الزوايا بين المحورية ألفا $(\alpha) = 90.08^\circ$ وبيتا $(\beta) = 101.03^\circ$ وجاما $(\gamma) = 105.73^\circ$. مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 4$ ، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $P\bar{1}$. توجد البلورات على هيئة نصلية bladed (شكل ٢-١٧) وأحياناً فتات على شكل شعاعي أو كتلي. يتكون المعدن فى صورته النقية من سيليكات الألومنيوم، وفى بعض الأحيان يوجد الحديد والمنجنيز والكروميوم بكميات بسيطة (جدول ٢-٤).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

يتخذ المعدن عادةً لوناً أزرقاً (شكل ٢-١٧) وأحياناً أبيض أو رمادي أو أخضر. البريق زجاجي إلى لؤلؤي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٤,٥ عند خدشه موازياً لأطول محور بلوري وحوالي ٦,٥ عند خدشه عمودياً على نفس المحور. الإنقسام كامل في المستوى {100} وجيد في المستوى {010}. الوزن النوعي حوالي ٣,٥٨. تحت الميكروسكوب، المعدن عديم اللون أو أزرق شاحب ولا يُظهر تغير لوني. التضاريس عالية موجبة. التوأمية نادرة. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا $\alpha = 1,712$ وبيتا $\beta = 1,702$ وجاما $\gamma = 1,728$. قرينة الإنكسار المزدوج $\delta = 0,012 - 0,016$ والزاوية البصرية $(2V) = 78 - 84^\circ$.

التواجدات والصحة المعدنية Occurrences and mineral association

يعتبر الكيانيت من المعادن المتحولة الأساسية والتي توجد بالصخور ذات التحول الأقليمي متوسط وعالي الضغط، مثل صخور الميتابليت ونادراً بالميتابساميت. كما يتواجد بصخور الإكلوجيت والأمفيبوليت الكيانيتي حيث ينشأ الكيانيت بعد الستوروليت وقبل السيليمينيت عند درجة حرارة ٦٧٠ - ٦٨٠ درجة مئوية على حساب الستوروليت والكلوريت:

ستوروليت + كوارتز \leftrightarrow ألماندين + كيانيت + ماء

كلوريت + ستوروليت \leftrightarrow كيانيت + جارنت

كلوريت + جارنت \leftrightarrow كيانيت + بيوتيت

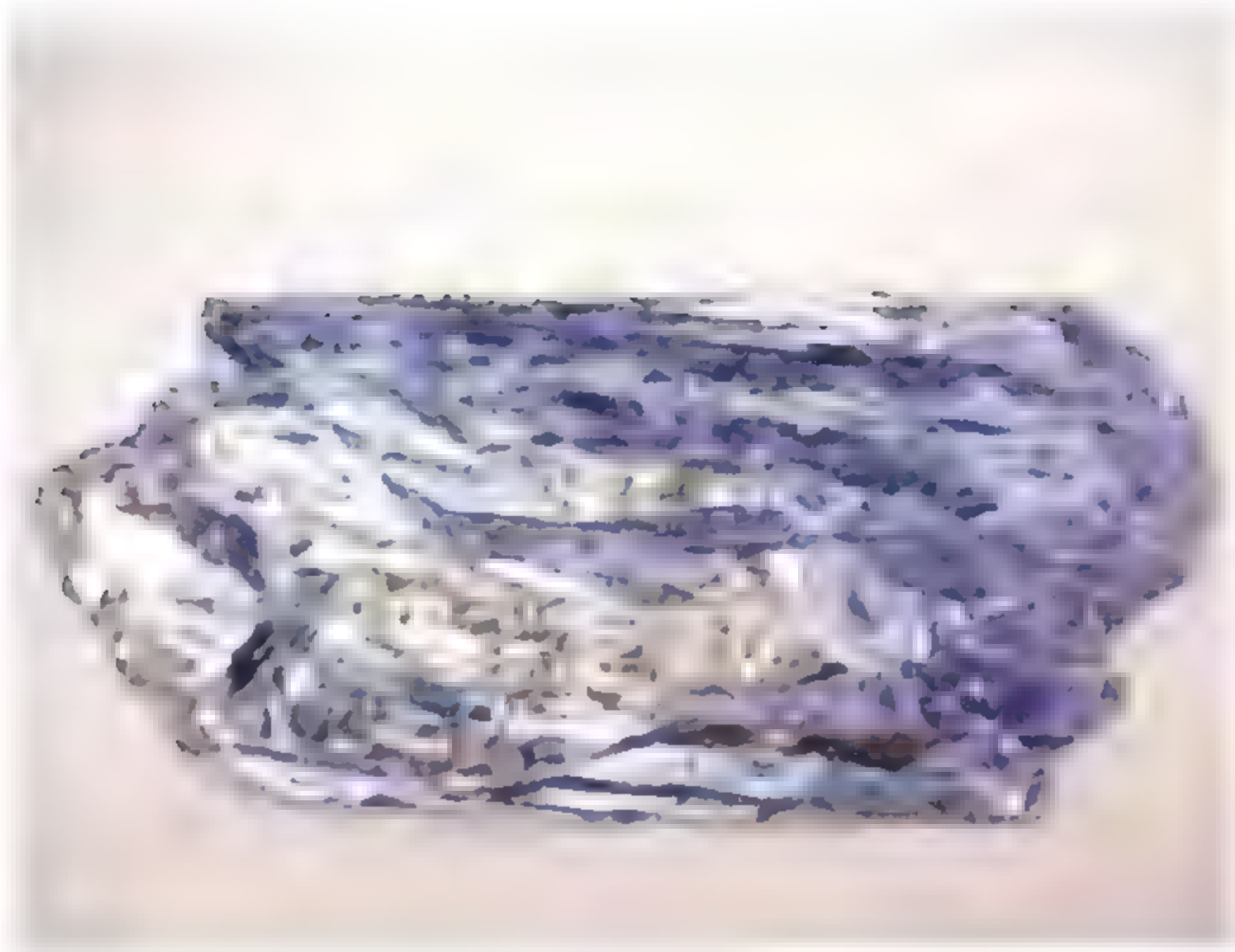
من المعادن المصاحبة: البيوتيت والستوروليت والجارنت والكوارتز والأندلسيت والسيليمينيت. ومن أهم أماكن تواجده: منطقة تيرول Tyrol بالنمسا حيث تأتي العينات المتميزة، وأيضاً من سويسرا وفرنسا. وتوجد رواسب إقتصادية بالهند وكينيا والولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد

الكيانيت بالمملكة العربية السعودية في العديد من المناطق أهمها: جبل كرش Jabal Kirsh وجبل الرقبة Jibal ar Ragabah وجبل ماهاديب Jabal Mahadib ووادي الأرج Wadi al Arj وجبل شدا Jabal shda ووادي مرتبط وبئر أبا القزاز.

الاستخدامات Uses: تستخدم الأنواع ذات اللون الأزرق الصافي كحجر كريم، وليس له استخدام غير ذلك.

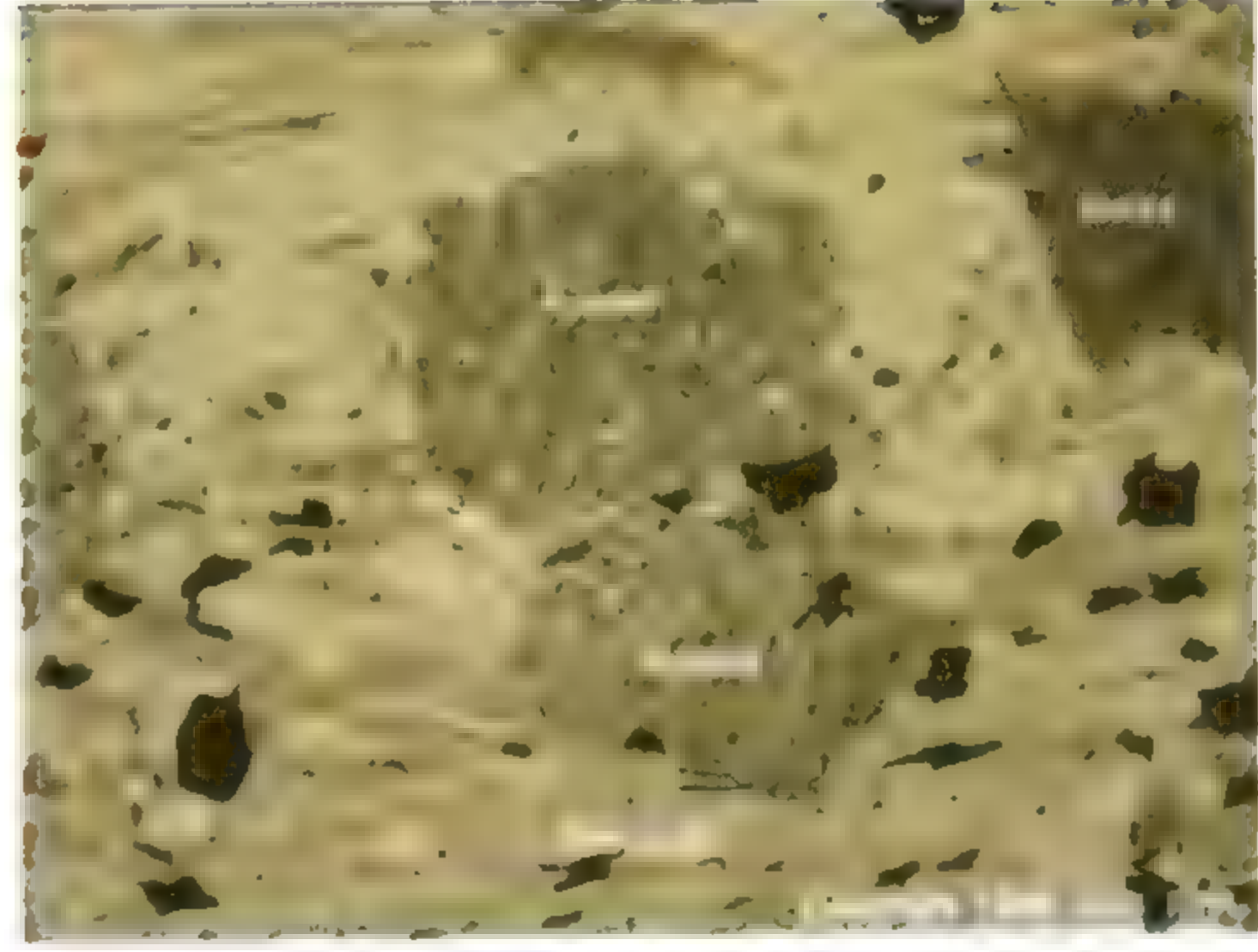
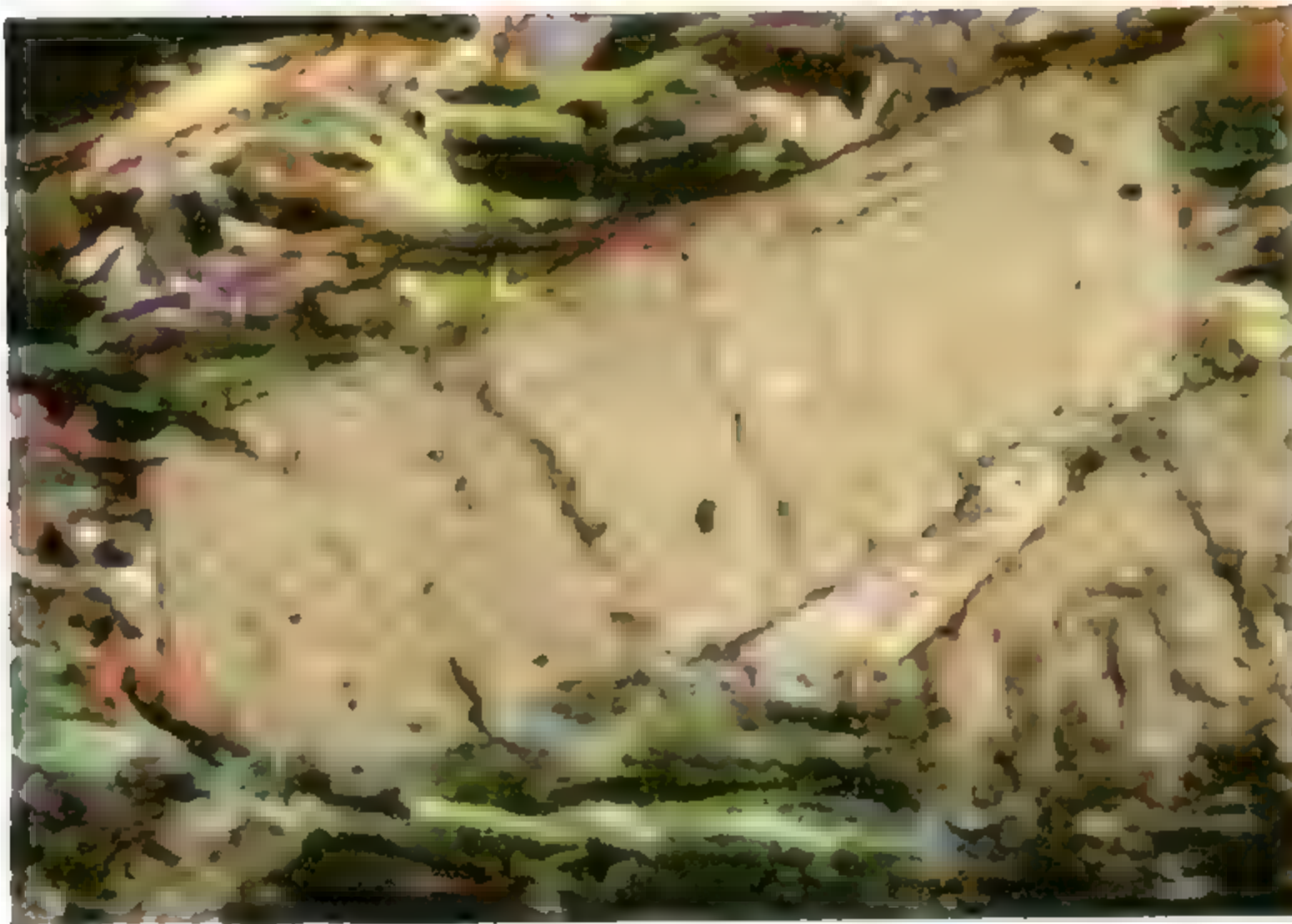
(ب)

(أ)



(د)

(ج)

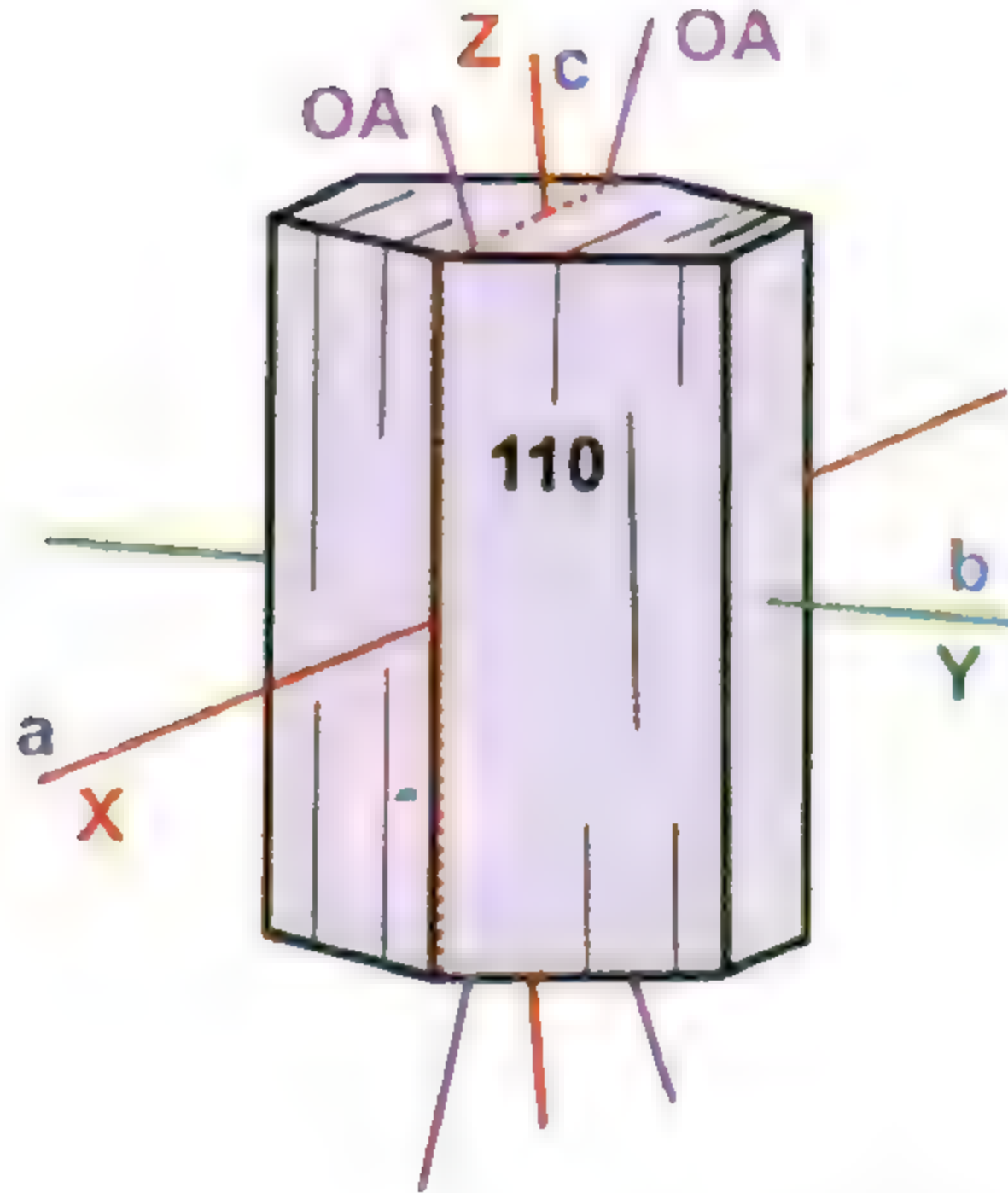


شكل ٢-١٧: (أ) بلورات على هيئة نصلية من الكيانيت. (ب) بلورات زرقاء اللون للكيانيت مع مسكوفيت فضي اللون. (ج) صورة ميكروسكوبية تحت الضوء المستقطب لإثنين من البيرفيروبلاست للكيانيت مع صحبة من البيوتيت والمسكوفيت بصخور الميتابليت من مقاطعة جرينفيل Grenville Province، لاحظ الهيئة كاملة الأوجه والتضاريس العالية والانقسام بالبيرفيروبلاست السفلى. (د) صورة ميكروسكوبية للكيانيت تحت منشوري نيكول بصخور الشينست المسكوفيتي من منطقة سوليتود رينج Solitude Range (ويتني وجينت ١٩٩٣ Whitney and Ghent).

السيليمينيت Silliminite



أطلق هذا الاسم على المعدن تكريماً لأحد العلماء وهو بنيامين سيليمان Benjamin Silliman وكان أستاذ كيمياء بجامعة يال Yale University.



شكل ٢-١٨: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن السيليمينيت كما يظهر في الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.

الصفات البلورية Crystal characteristics

يتبلور المعدن بفصيلة المعيني القائم وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a = 7.44, b = 7.60, c = 5.75$ أنجستروم (شكل ٢-١٨)، مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 4$ ، مجموعة النقطة $2/m2/m2/m$ والمجموعة الفراغية: $P2_1/b2/$. توجد أحياناً البلورات على هيئة كتل ليفية ويسمى في هذه الحالة بالفيبروليت Fibrolite. كما توجد البلورات على هيئة منشورية أو إبرية أو فتاتية. يتكون المعدن في صورته النقية من سيليكات الألومنيوم ولكن أحياناً توجد كميات بسيطة من الحديد والمنجنيز والماغنيسيوم (جدول ٢-٤).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

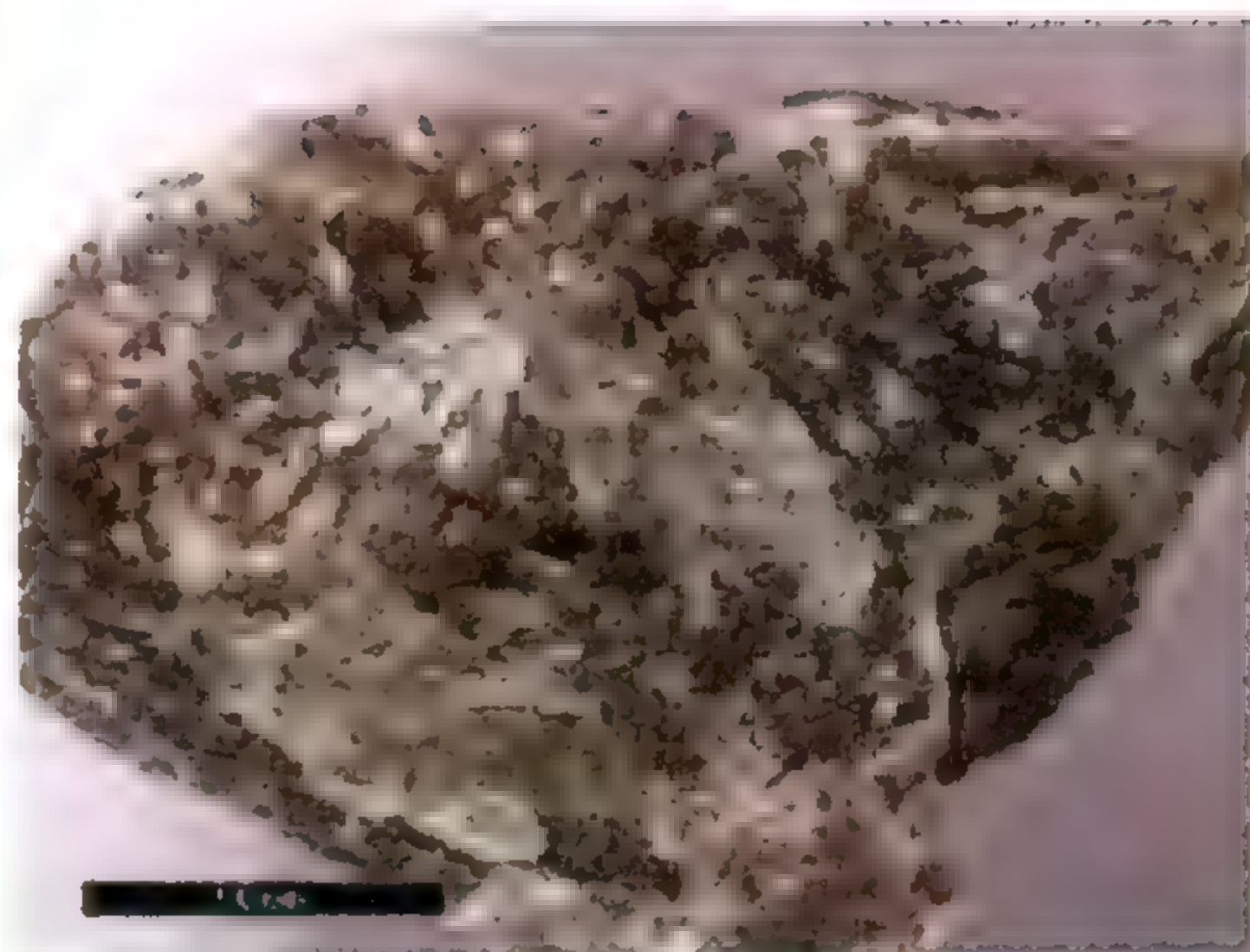
اللون أبيض أو بني أو أخضر (شكل ٢-١٩). البريق حريري في الهيئة الليفية أو زجاجي بالهياآت الأخرى. المخدش أبيض والمعدن شفاف إلى نصف شفاف. تصل الصلادة إلى ٧,٥ في البلورات الكبيرة ولكن تقل في البلورات الليفية. الانفصام جيد في إتجاه واحد $\{010\}$ ولكن يندر رؤيته. المكسر غير مستوي. يبلغ الوزن النوعي ٣,٢. تحت الميكروسكوب، المعدن عديم اللون ومن الممكن أن يكون بني باهت بأنواع الفيبروليت ولا يُظهر

المعدن تغير لوني. التضاريس عالية موجبة. المعدن ثنائي المحور موجب، وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1.658$ وبيتا $\beta = 1.662$ وجاما $\gamma = 1.680$. قرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0.022$ والزاوية البصرية $2V = 90^\circ - 120^\circ$.

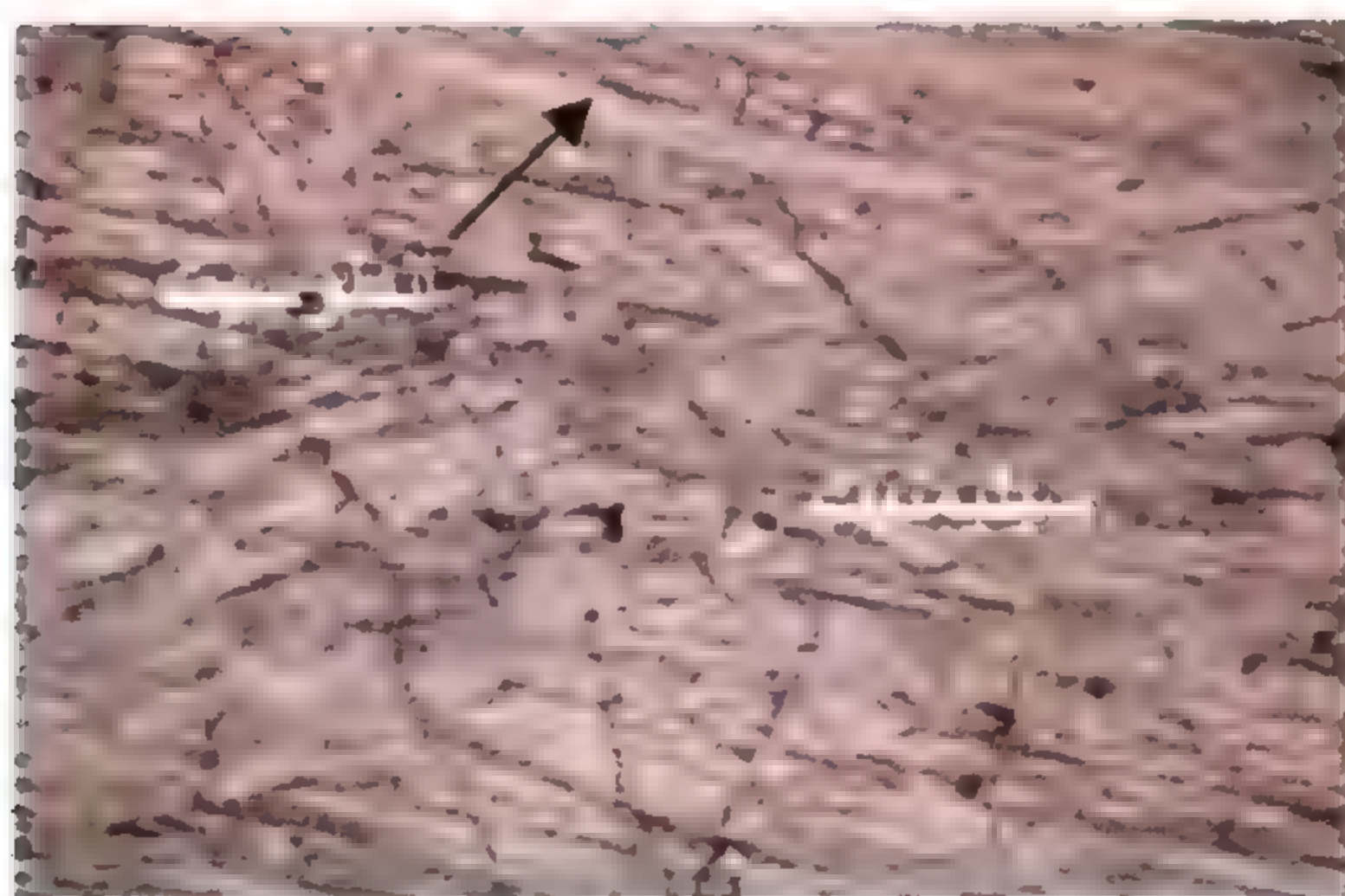
(ب)



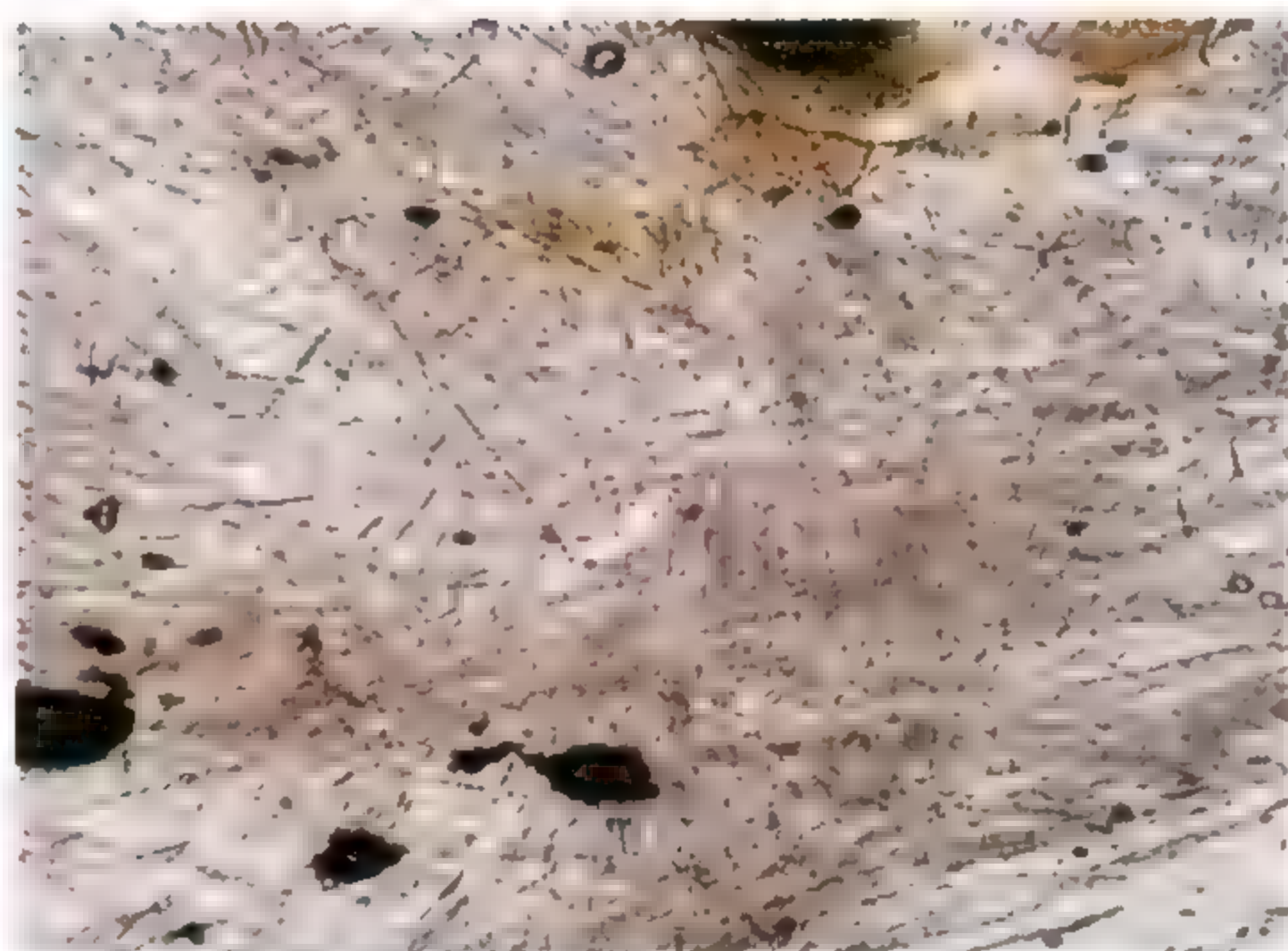
(أ)



(د)



(ج)

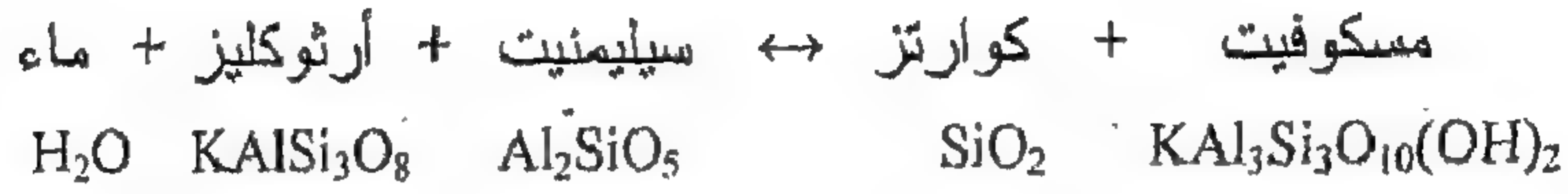


شكل ٢-١٩: (أ) سيليمنيت بني اللون. (ب) سيليمنيت أبيض اللون. (ج) سيليمنيت على هيئة ليفية (فيبروليت) بالضوء المستقطب ($\times 200$). (د) صورة ميكروسكوبية بالضوء المستقطب لبلورات منشورية من السيليمنيت في نمو مشترك مع الأندلوسيت من منطقة حمادان، إيران (سباهي وآخرون ٢٠٠٤).

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يمثل السيليمنيت الصنف عالي الحرارة بمجموعة سيليكات الألومنيوم ويتواجد بصخور الشيست والنيس ذات التحول الحراري العالي. ينتج غالبية

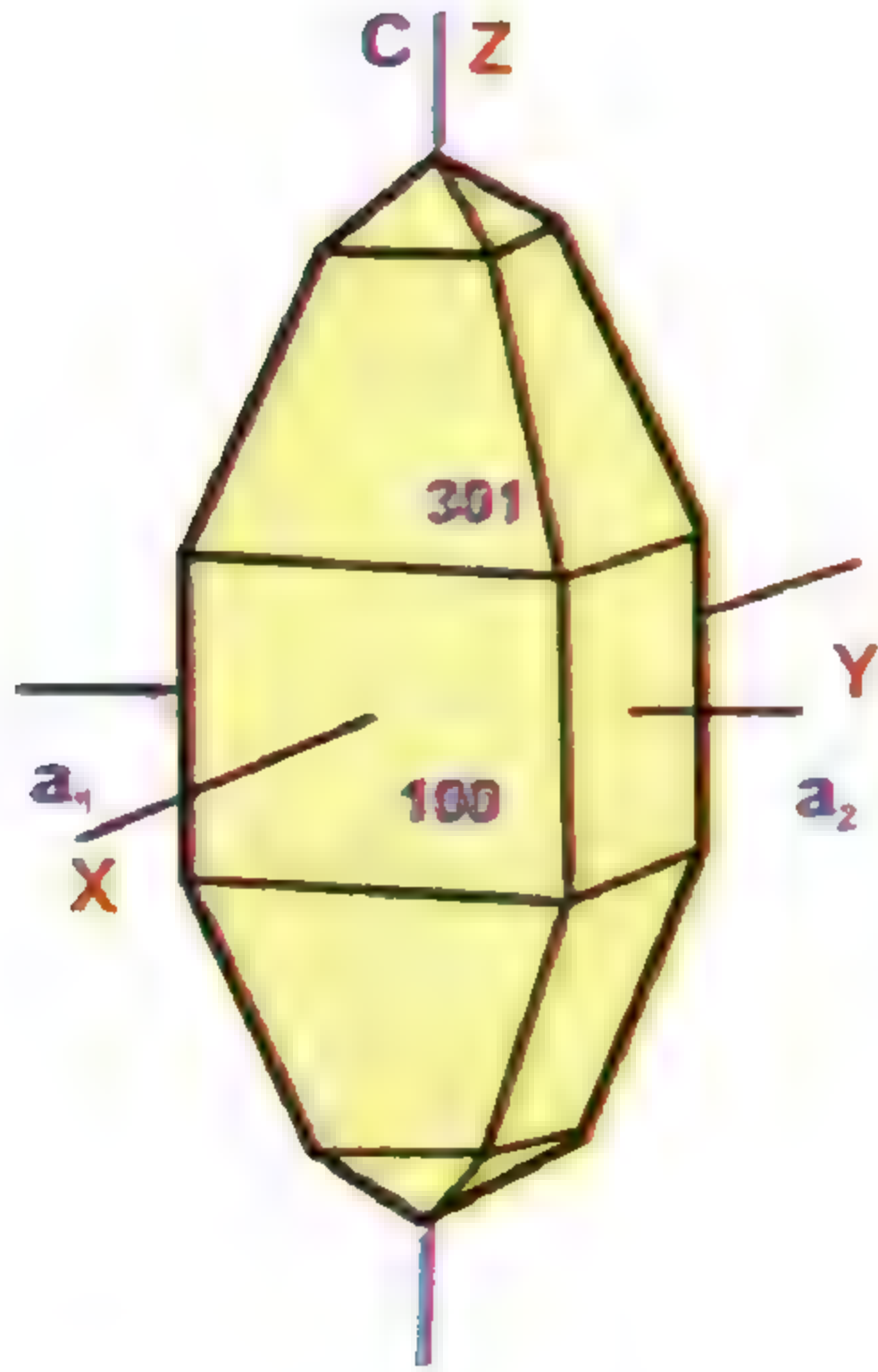
السيليمنيت عن تكسير Breakdown للمسكوفيت والبيوتيت عند درجة حرارة حوالي ٧٢٠ درجة مئوية (نطاق السيليمنيت، سحنة الأمفيبوليت العليا) حيث تتكون الصلبة المعدنية : أرثوكليز وسيليمنيت وكوارتز:



كما يصاحب المعدن الجارنت والكورديريت والسبينيل والهيرثين والبيوتيت. ومن أشهر أماكن تواجده: البرازيل والنمسا وألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية.

الاستخدامات Uses

يستخدم السيليمنيت في صناعة البوتقات التي تتحمل درجات الحرارة العالية. كما تستخدم بعض الأنواع النقية منه في صناعة المجوهرات. بشكل عام، عند تسخين معادن سيليكات الألومنيوم فإنها تتحول مع درجات الحرارة إلى معدن موليت Mullite وكوارتز. يستخدم الموليت في الصناعات الحرارية. يعتبر السيليمنيت أقل معادن سيليكات الألومنيوم لإنتاج الموليت، ويستخدم الكيانيت أو الأندلوسيت لهذا الغرض حسب فرصة توفرهما كخامات.



الزركون Zircon



يأتي اسم المعدن من الكلمة الفارسية Zargun والتي تعني " اللون الذهبي".

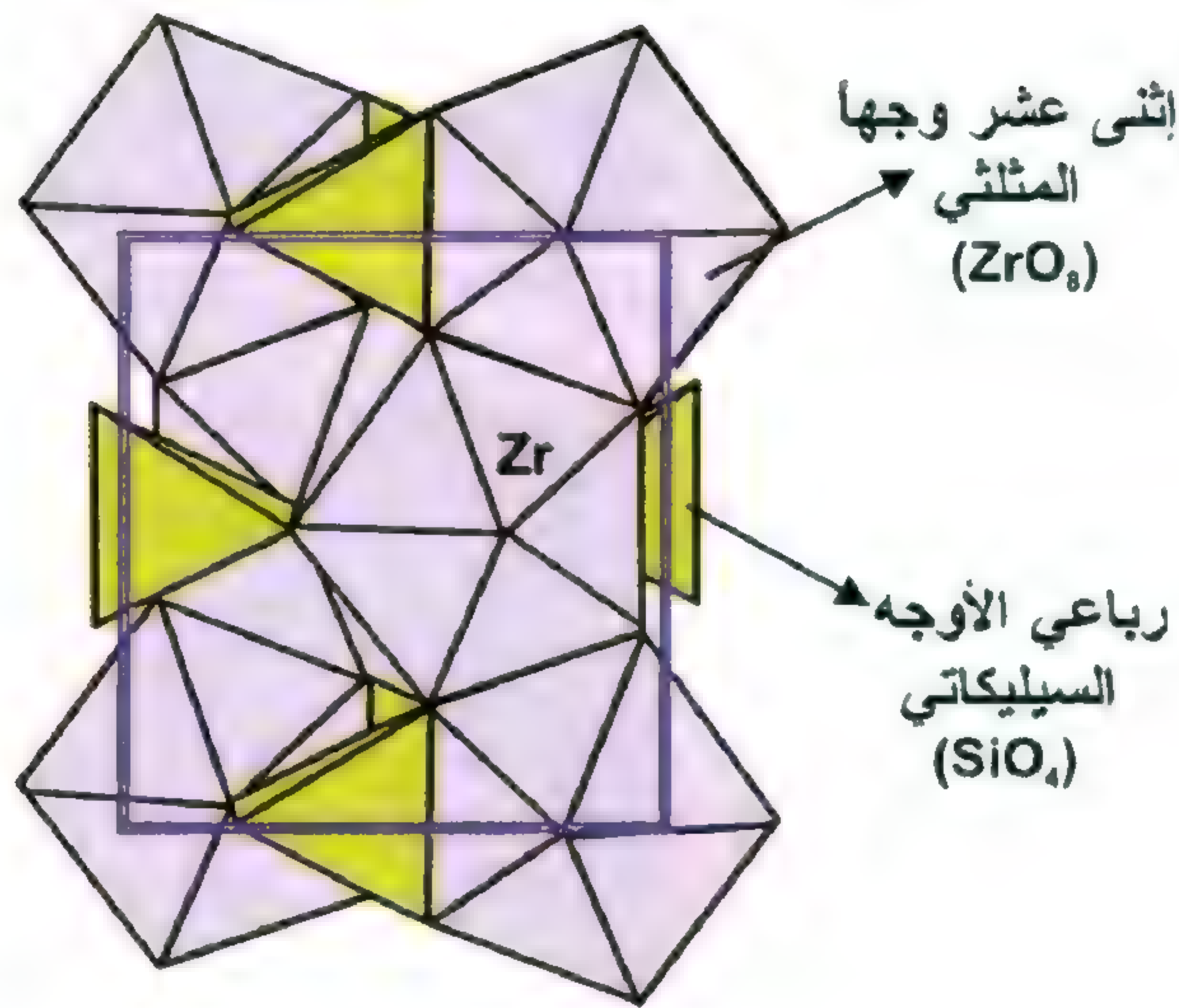
البنية البلورية Crystal structure

يتبلور الزركون في فصيلة الرباعي. أبعاد خلية الوحدة: أ = ٦,٦، ج = ٥,٩٨ أنجستروم. مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة

شكل ٢-٢٠: العلاقة بين المحاور البلورية a_1 , a_2 , c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X , Y , Z في بلورة لمعدن الزركون.

من الذرات $(Z)=4$ ، مجموعة النقطة $4/m2/m2/m$ والمجموعة الفراغية $I4_1/a2/m2/d$. تتواجد البلورات على شكل منشور رباعي أو أهرامات رباعية منعكسة أو كلاهما معاً (شكل ٢-٢٠). كما يمكن أن تتواجد بلورات الزركون على شكل حبيبات مستديرة.

تتكون البنية البلورية للزركون من سلاسل لوحدات رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 تشارك من خلال حوافها أو أركانها وحدات أخرى من الإثني عشر وجهاً المثلثي $Triangular\ dodecahedra$ والتي تشغلها ذرات الزركون (ZrO_8) . تمتد هذه السلاسل موازية للمحور البلوري "c" مما تعكس الهيئة المنشورية للزركون.



شكل ٢-٢١: البنية البلورية للزركون.

كيمياء المعدن Mineral chemistry

يتكون الزركون عادةً في صورته النقية من سيليكات الزركونيوم (جدول ٢-٥) ولكن أحياناً تتواجد بعض العناصر الأخرى مثل الهافنيوم Hf واليورانيوم U والثوريوم Th والإيتريوم Y. عندما تزيد نسبة الهافنيوم عن ٢٠%، يسمى المعدن في هذه الحالة بالهافنون Hafnon. يؤدي وجود العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم والرصاص إلى إنهاء البنية

جدول ٢-٤: أمثلة لبعض التحاليل الكيميائية للزركون.

١	٢	٣	٤
SiO ₂	٣١,٤٢	٣٢,٢٥	٣١,٠٩
ZrO ₂	٦٦,٠٥	٦٥,١٠	٦١,٠٠
Al ₂ O ₃	١,٠٠	١,٠١	١,٠٠
FeO	١,١٠	١,٧٠	١,٠٠
CaO	١,٠٨	١,٠٠	١,٠٠
UO ₂	١,٢٠	١,١١	١,٠٤
ThO ₂	١,٠٠	١,٠٠	١,١٩
HfO ₂	١,٠٧	١,٠٦	٤,٩١
Y ₂ O ₃	١,٠٠	٠,١٢	١,٣٨
P ₂ O ₅	١,٠٠	٠,١٧	٠,٠٠
ΣREE	١,٠٩	--	--
المجموع	٩٩,٦٠	٩٩,٥٢	٩٧,٤٠

١= زركون من الرمال السوداء بمنطقة رشيد، مصر (عن عبد النبي وداود، تحت التحضير In preparation).

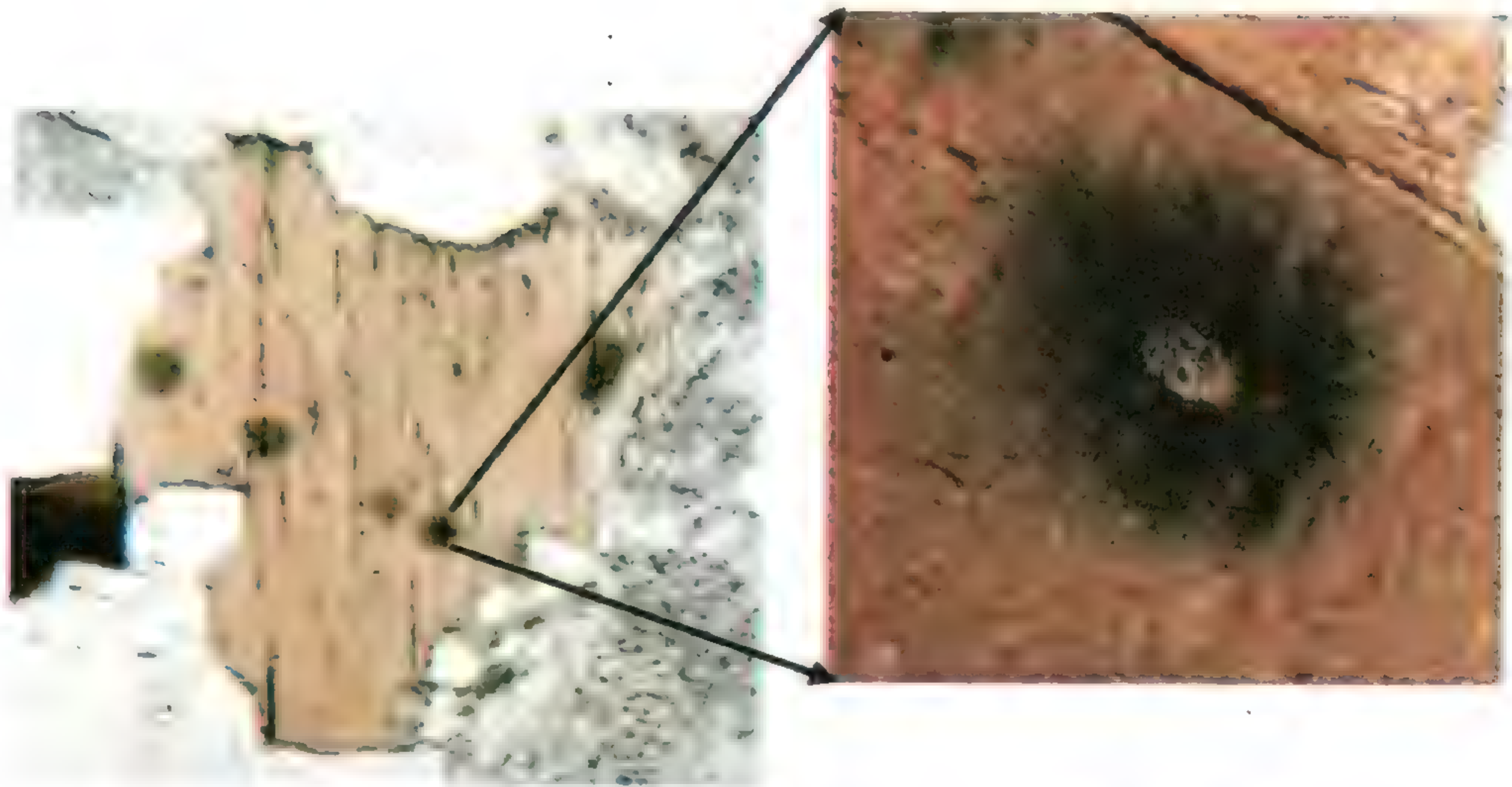
٢= زركون برواسب الوديان بمنطقة ذهب، مصر (عن سرور وآخرون ٢٠٠٣. Srou et al.).

٣= زركون بصخور الجرانيت البيوتيتي بمنطقة بودليسي Podlesi، جمهورية التشيك (عن برايتير وآخرون ٢٠٠٥ Breiter).

٤= زركون بالعروق الحرمانية بمنطقة سيرا بلايا، بيبيا، تكساس (عن روبين وآخرون ١٩٨٩ Rubin et al.).

البلورية للزركون حتى يصل في بعض الأحيان إلى حالة غير متبلورة Amorphous، تسمى هذا الحالة بالزركون الميتاميكيت Metamict (أى الزركون ذو البنية المحطمة من جراء الإشعاع). تحت الميكروسكوب، تظهر هذه البلورات محاطة بهالة متغيرة الألوان Pleochroic halo (شكل ٢-٢٢). يصاحب تحطيم البنية البلورية للزركون من جراء الإشعاع تغير أيضاً في

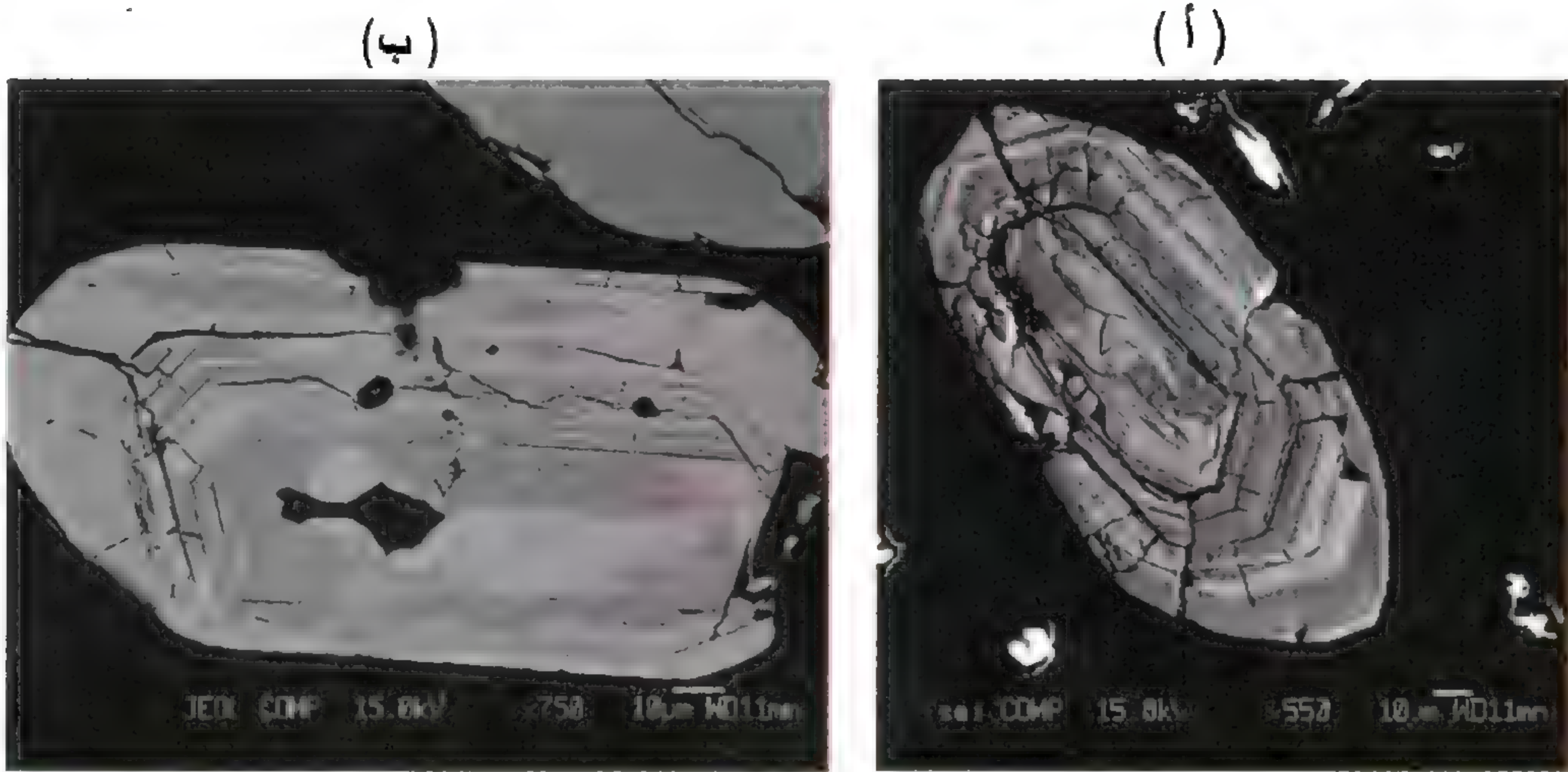
صفاته الفيزيائية والبصرية. يحتوى الزركون في بعض الأحيان على حوالى ٥٠٠٠ جزء فى المليون من مجموع أكسيد اليورانيوم UO_2 وأكسيد الثوريوم ThO_2 وقد ثبت أن مجموع اليورانيوم والثوريوم بالزركون يزيد أحياناً عن ٧% (نسبة وزنية % Weight) (سبير ١٩٨٢ Spear ، دير وآخرون ١٩٩٧ Deer et al.). يطلق على النوع غير المستقر للزركون اسم كيرتوليت Cyrtolite. يؤدي زيادة بعض العناصر في الزركون كالهافنيوم والإيتريوم إلى تكوين نطاقية (شكل ٢-٢٣)



شكل ٢-٢٢: حالة متغيرة الألوان حول الزركون المتواجد كمكثفات بالبيوتيت بصخور الطف بمنطقة فيش كانيون Fish Canyon (www.ucl.ac.uk/~ucfbrxs/PLM/zircon.html).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

يظهر الزركون على عدة ألوان، منها: البني والأحمر والأصفر والأخضر والأزرق والأسود وأيضاً عديم اللون (شكل ٢-٢٤). يعود اللون البني الغامق إلى وجود شوائب من أكاسيد الحديد بالمعدن. أما النوع الأخضر ذو الحبيبات المستديرة فإنه يدل على النوعية المشعة والغير مستقرة والتي تسمى بالكيرتوليت. البريق ماسي والمخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة = ٧,٥. الإنقسام ضعيف موازى للمستوى {100}، وجيد فى المستوى {111}. المكسر غير مستوي. الوزن النوعي = ٤,٦-٤,٧.



شكل ٢-٢٣: صور بالوميض الكاسودي توضح النطاقية بمعدن الزركون (أ) من الصخور الجرانيتية بمنطقة أم أرا، جنوب الصحراء الشرقية، مصر. (ب) من الرمال السوداء بمنطقة رشيد، مصر

تحت الميكروسكوب، يبدو المعدن عديم اللون وأحياناً أصفر شاحب أو بني. التضاريس عالية جداً. المعدن أحادي المحور موجب ويبلغ معاملي الإنكسار $\omega = 1.99$ و $\epsilon = 1.93$ وقرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0.06$.



شكل ٢-٢٤: (أ) بلورات بنية اللون من الزركون. (ب) بلورة شفافة ونقية من الزركون على هيئة منشورية منتهية بهرم من منطقة ليشير زيسه See Laacher بالمانيا (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1261).

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد الزركون كمعدن إضافي Accessory في أنواع مختلفة من الصخور. يوجد كحبيبات صغيرة بالصخور الجرانيتية والسيانيت والشيست والنيس. كما يمكن أن يوجد كحبيبات كبيرة بالبيجماتيت. ونظراً لكون الزركون من المعادن الثقيلة والشديدة المقاومة لعوامل التجوية، فإنه يكثر وجوده في الجزء الثقيل Heavy fraction، والذي يفصل من الصخور الرسوبية بعد تفتيتها باستخدام السوائل الثقيلة كالبروموفورم، أو بتركيزات عالية في رواسب الركيزة Placer deposits. ومن أشهر أماكن تواجدات الزركون: مدينة اتافورد Atta Fjord وجزيرة سيلاند بالنرويج Seiland Island وتيرول Tyrol بالنمسا وجبال إيفيل بألمانيا Eifel Mountains وجبال الأورال بروسيا. تأتي معظم الرواسب الإقتصادية الهامة من الرمال الثقيلة بمنطقة كوينزلاند Queensland بأستراليا. كما يأتي معظم أنواع الزركون والتي تستخدم كأحجار كريمة من رواسب الركاز ببعض الدول الآسيوية مثل سيريلانكا وبورما وفيتنام وكمبوديا وتايلاند. كما توجد بلورات كبيرة للزركون بمناطق عديدة بمدغشقر والبرازيل وكندا والولايات المتحدة الأمريكية. ويصاحب المعدن المعادن الثقيلة الأخرى برواسب الرمال السوداء بمنطقة رشيد بمصر مثل المونازيت والزينوتيم Xenotime والجارنت ومعادن أخرى مثل البيوتيت والأليبت.

الاستخدامات Uses

يستعمل المعدن كمصدر لأكسيد الزركونيوم الذي يستخدم في صناعة العوازل الحرارية ومواد الصنفرة. كما تستخدم البواتق المصنوعة من أكسيد الزركونيوم في صهر البلاتين عند درجات حرارة تزيد عن ١٧٥٥°م. كما يستخدم الزركونيوم في المفاعلات النووية وذلك لما يتمتع به من خصائص إمتصاصية عالية. تستخدم الأنواع الشفافة من المعدن كأحجار كريمة. كما أن للزركون أهمية خاصة في تحديد أعمار الصخور الحاوية عليه ويرجع ذلك إلى محتواه من العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم، بالإضافة إلى

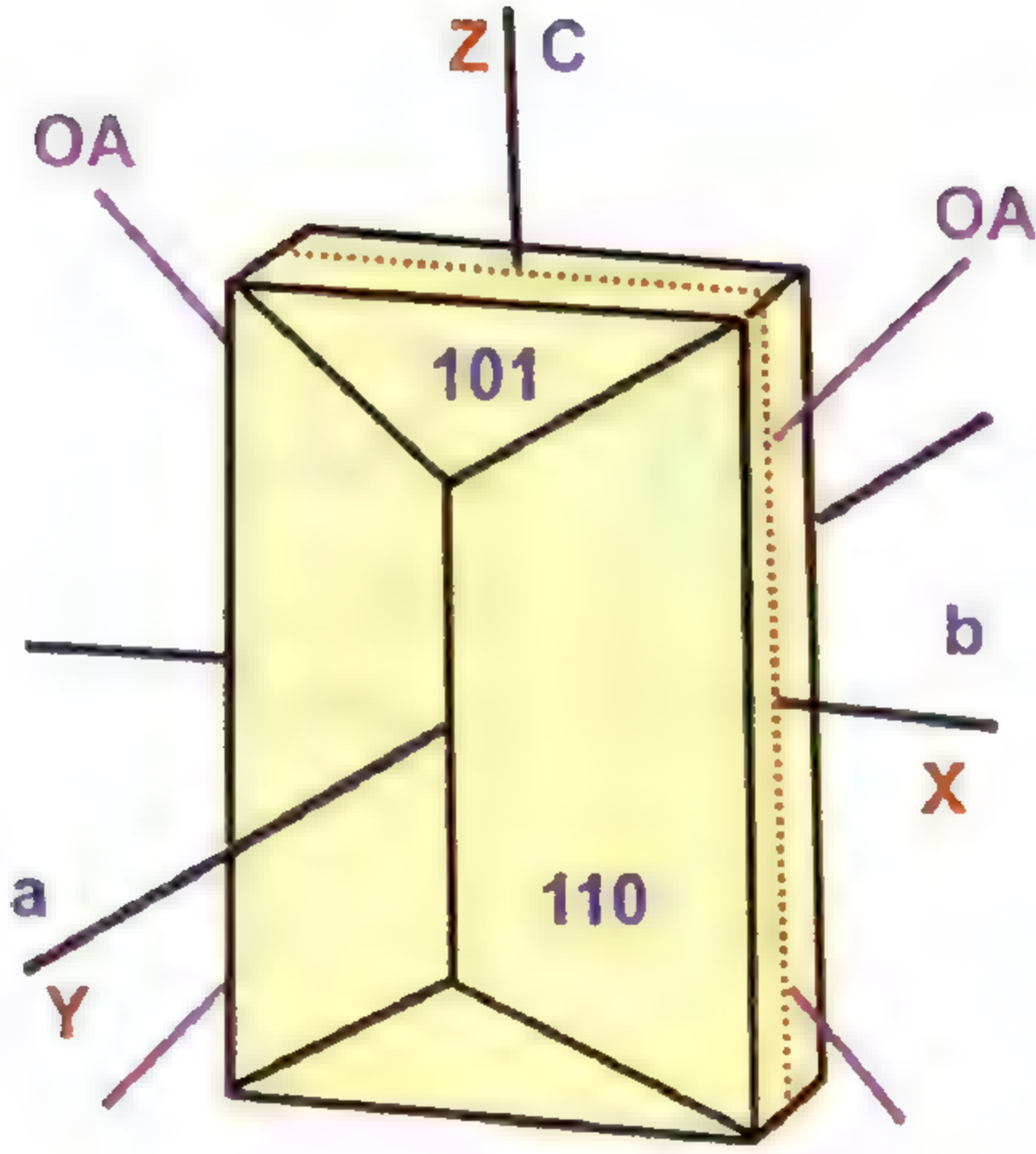
قدرته الكبيرة على الاحتفاظ بحالة الإتزان الإشعاعي كوسط مغلق. ولا تقف قيمته من الناحية الجيولوجية على تحديد أعمار الصخور، بل أيضاً في معرفة التاريخ الذي مر به الصخر من عمليات جيولوجية مثل التعرية والنقل وأيضاً عمليات التحول عالية الدرجة، ويرجع ذلك إلى المقاومة العالية للزركون ضد هذه العمليات.

الستوروليت Staurolite



يأتى اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *Stauras* والتي تعني "صليب" ويرجع ذلك إلى الهيئة التوأمية الصليبية التي يتواجد عليها المعدن.

البنية البلورية Crystal structure

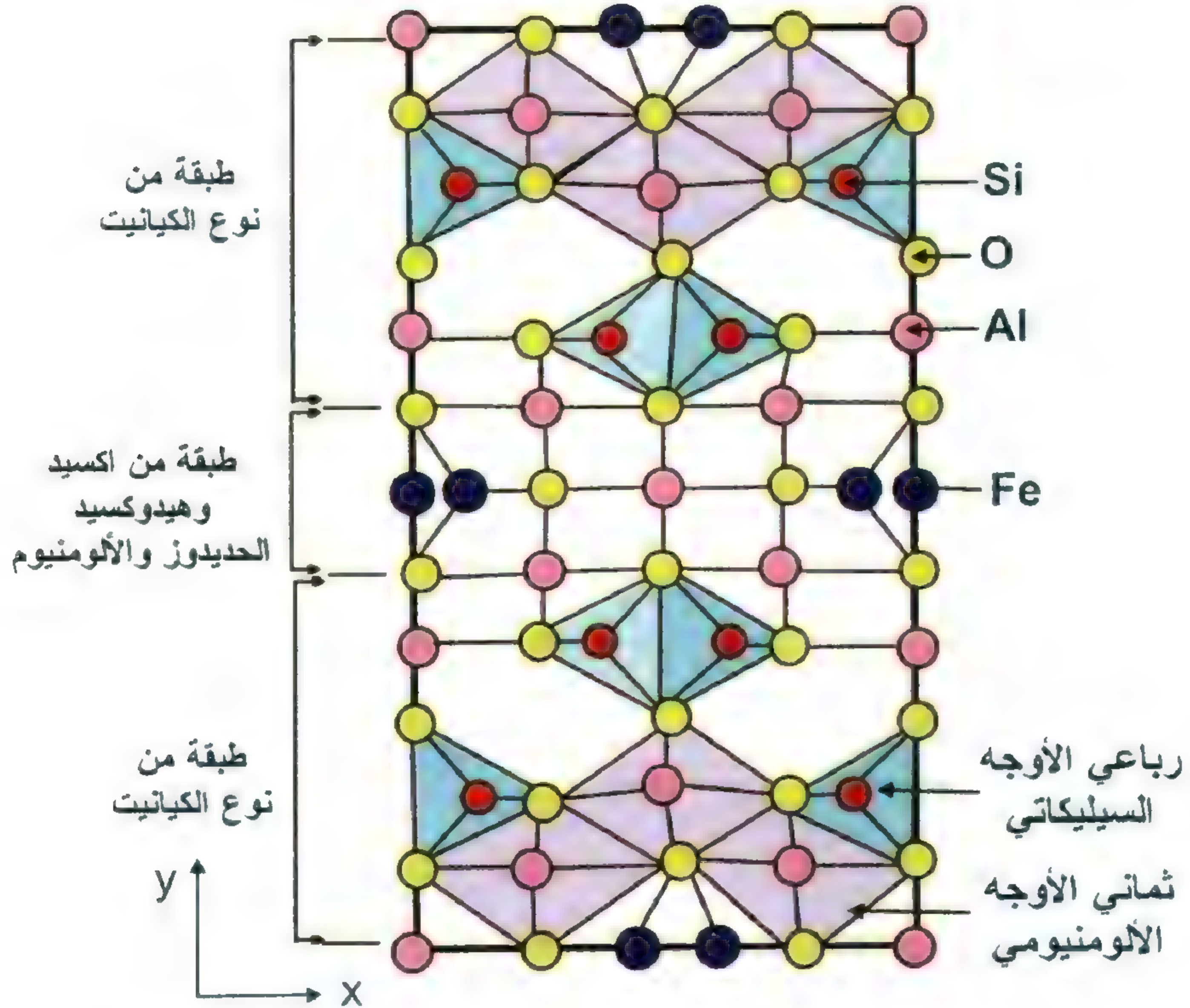


شكل ٢-٢٥: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الستوروليت، كما يظهر في الشكل إتجاه المحورين البصريين OA.

يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a = 7.86$ ، $b = 16.6$ ، $c = 5.65$ أنجستروم (شكل ٢-٢٥). مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 2$ ، مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. يشتهر المعدن بالهيئة التوأمية التي تأخذ شكل الصليب أو حرف أكس "X" (شكل ٢-٢٧). هذه التوأمية من النوع الإفتراضى حيث تبدو كأن البلورتين قد نما بداخل وخارج بعضهما. هناك نوعين من التواءم: تصنع البلورتين في النوع الأول زاوية قدرها 90° (على شكل +)

والأخرى زاوية 60° (على شكل X). يكثر وجود النوع (X) عن النوع (+). توجد البلورات على هيئة منشورية أو صفائحية. تتشابه البنية البلورية

للاستوروليت إلى حد كبير بتلك الخاصة بمعادن الكيانيت حيث تتكون من طبقات من سيليكات الألومنيوم (Al_2SiO_5) والتي تحتوى على سلاسل من ثماني الأوجه الألومنيومي AlO_6 . تتبادل هذه الطبقات مع طبقات أخرى من أكسيد وهيدروكسيد الحديدوز $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ والألومنيوم (شكل ٢-٢٦).



شكل ٢-٢٦: البنية البلورية للاستوروليت (محرور عن دير وآخرون ١٩٨٩ Deer et al.).

كيمائية المعدن Mineral chemistry

يوجد نوعين من الاستوروليت حسب التركيب الكيميائي: يسمى الأول بالاستوروليت الحديدي وهو النوع النقي من الاستوروليت ويكون مستقرًا عند درجة حرارة بين ٥٥٠ و ٧٠٠°م وضغط أكبر من ١٥,٠ جيجا باسكال (ريشاردسون ١٩٦٦ Richardson)، والنوع الآخر هو الاستوروليت الماغنيسيومي، حيث يحل الماغنسيوم محل بعض الحديد (حوالي ٣٥% من محتوى الحديد) ويكون مستقرًا عند درجة حرارة ٧٠٠ إلى ١٠٠٠°م وضغط

أكبر من ١,٢ جيجا باسكال (شراير وشينير ١٩٦٦ Schreyer and Chinner). كما توجد كميات بسيطة من التيتانيوم والمنجنيز (جدول ٢-٦). يتحول المعدن تحت تأثير عوامل التجوية إلى سيريسيت أو كلوريت.

جدول ٢-٦: التحليل الكيميائي للستوروليت من مناطق مختلفة.

١	٢	٣	٤	
٢٧,٩٥	٢٧,٥٣	٢٧,٦٨	٢٧,٨٦	SiO ₂
٠,٣٦	٠,٥١	٠,٢٦	٠,٠٣>	TiO ₂
٥٢,٤٤	٥٣,٩٦	٥٥,٥٥	٥٥,٤٧	Al ₂ O ₃
١٢,٨٩	١١,٦١	١٢,٣٠	١١,٢٨	FeO
٠,٠٤	٠,٠٩	١,٣٥	٠,٤٦	MnO
١,٦٩	١,٣٦	٠,٧١	١,٠١	MgO
٠,٠٠	٠,٠٧	٠,٠٠	٠,١٠	CaO
٠,٢٠	٠,٠٦	٠,٠٠	٠,٠٠	Na ₂ O
١,٤٥	١,٦٨	١,٣٤	٢,٧٠	ZnO
٩٧,٠٢	٩٦,٨٧	٩٨,٥٢	٩٨,٧٧	المجموع
الصيغة بناءً على نسب الكاتيونات				
٧,٧٨	٧,٧٠	٧,٥٥	٧,٦٣	Si
٠,٠٨	٠,١١	٠,١١	٠,٠١	Ti
١٧,٣٦	١٧,٧٩	١٧,٨٧	١٧,٩٠	Al
٣,٠٣	٢,٧٢	٢,٨١	٢,٥٨	Fe ²⁺
٠,٠١	٠,٠٠٢	٠,٣١	٠,١١	Mn
٠,٧١	٠,٥٧	٠,٢٩	٠,٤١	Mg
٠,٠٠	٠,٠٢	٠,٠٠	٠,٠١	Ca
٠,٠٣	٠,١١	٠,٠٠	٠,٠٠	Na
٠,٣٠	٠,٣٥	٠,٢٧	٠,٥٥	Zn

١= مكتشفات من الستوروليت في الجارنت بصخور الشيست بمنطقة معيتق Meatiq، الصحراء الشرقية، مصر (نويمير وأخرون ١٩٩٨ Neumayr et al.).

٢= ستوروليت بصخور الشيست بمنطقة معيتق Meatiq، الصحراء الشرقية، مصر (نويمير وأخرون ١٩٩٨ Neumayr et al.).

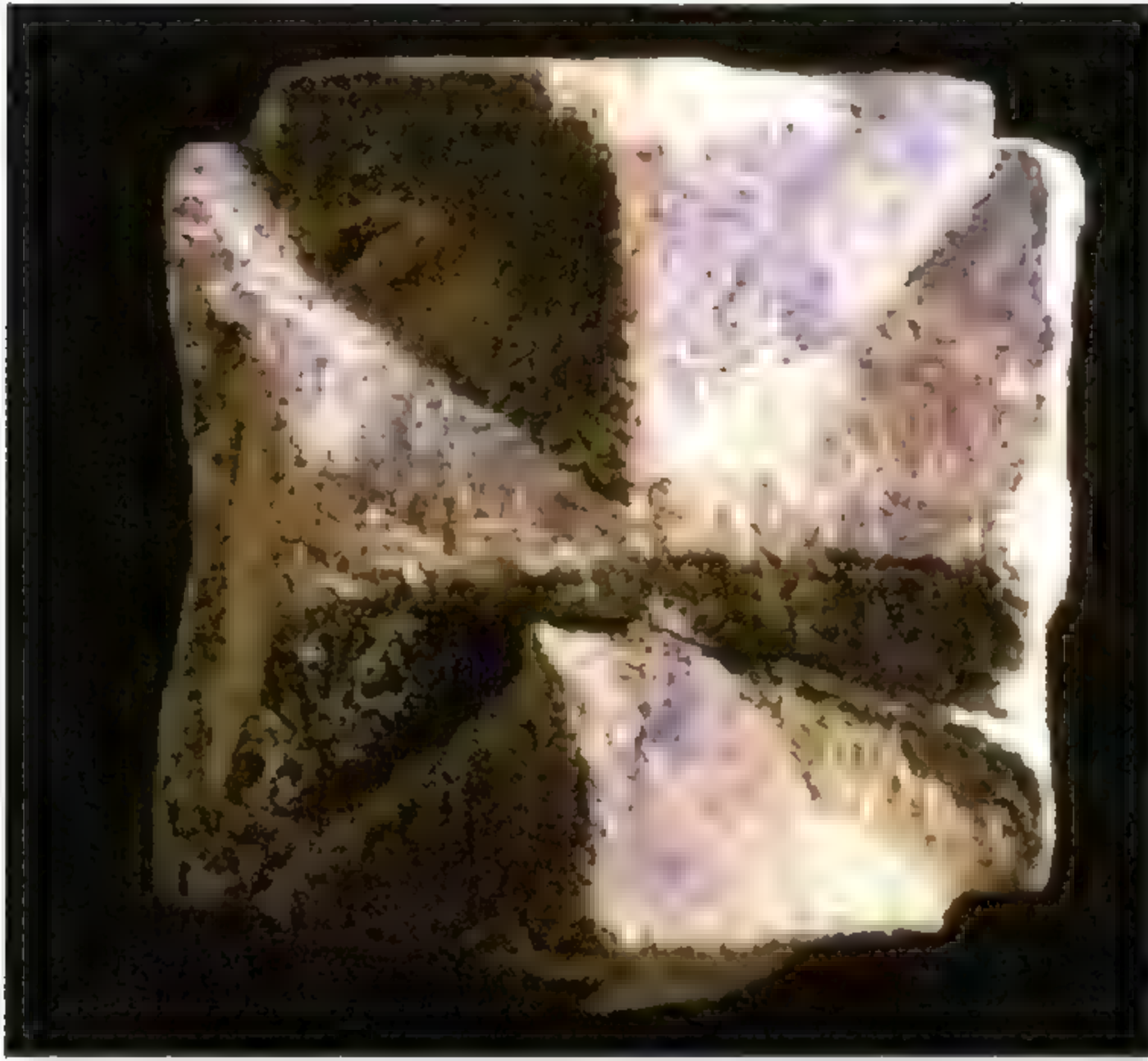
٣= ستوروليت بصخور الكوارتزيت الغنية بمعادن سيليكات الألومنيوم من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

٤= ستوروليت بصخور الشيست من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

المعدن بني اللون إلى بني محمر أو أسود (شكل ٢-٢٧). البريق زجاجي وراتنجي إلى معتم في بعض الأحيان. المخدش أبيض. البلورات نصف شفافة إلى معتم.

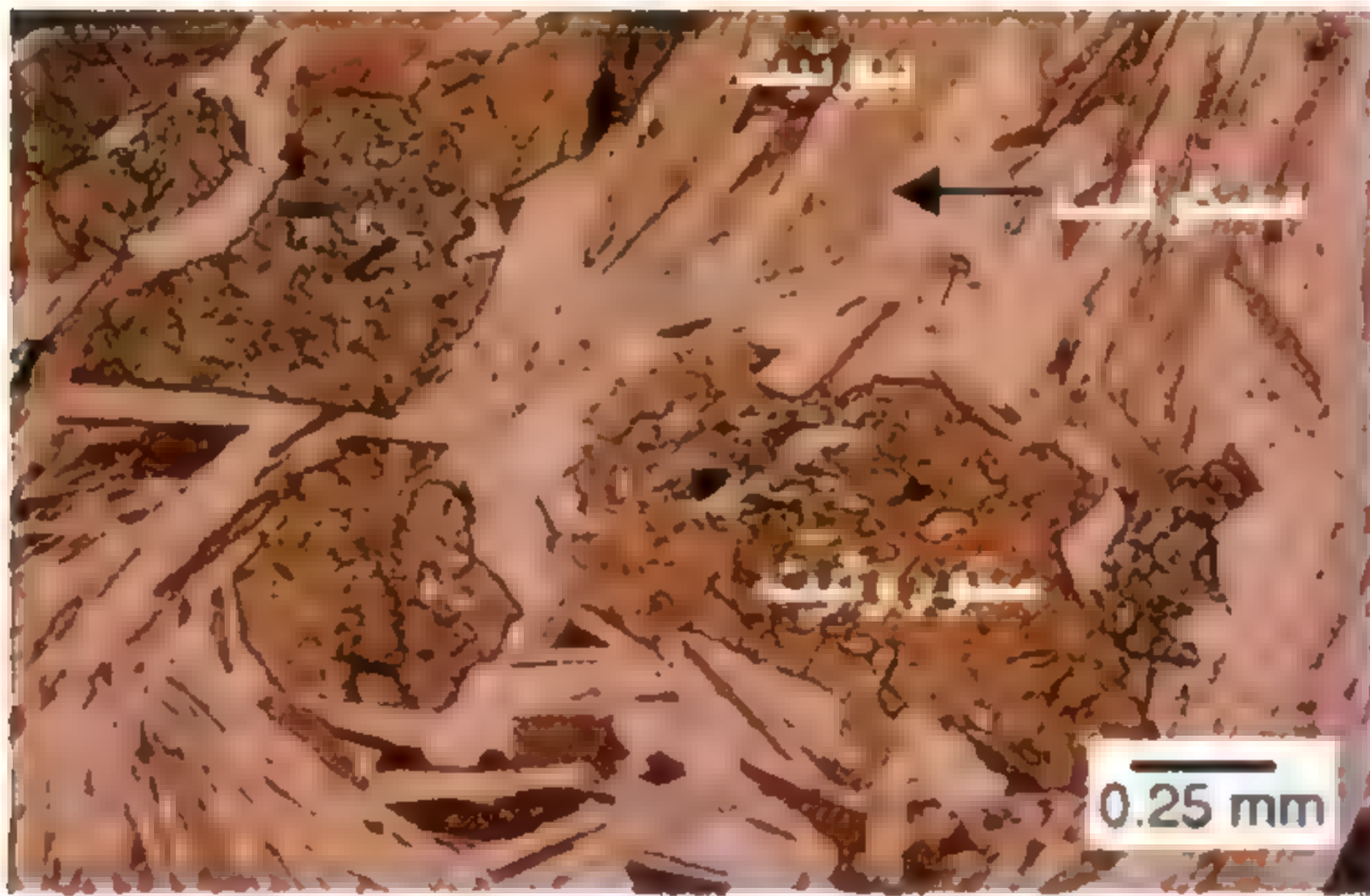
(ب)



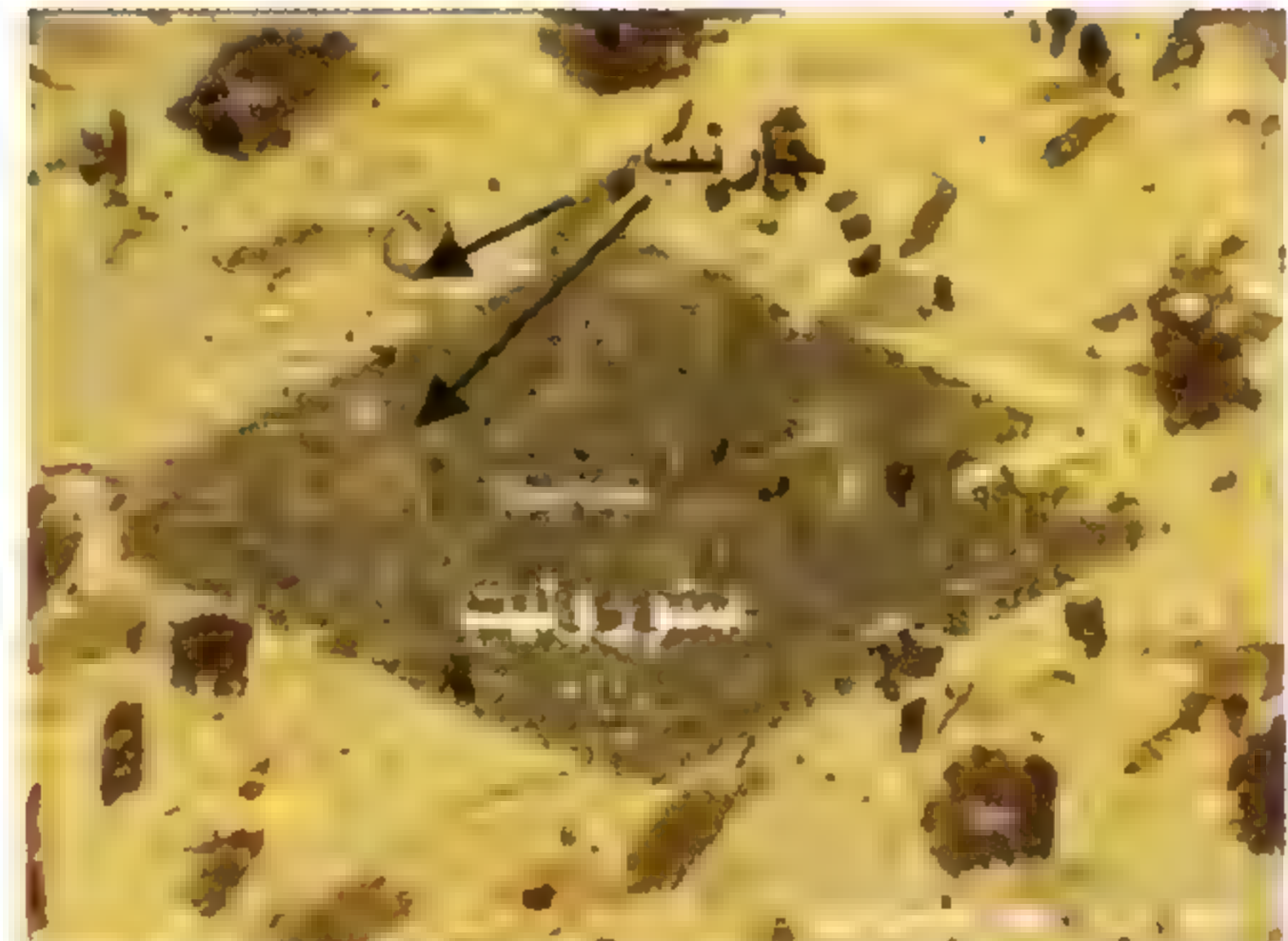
(أ)



(د)



(ج)



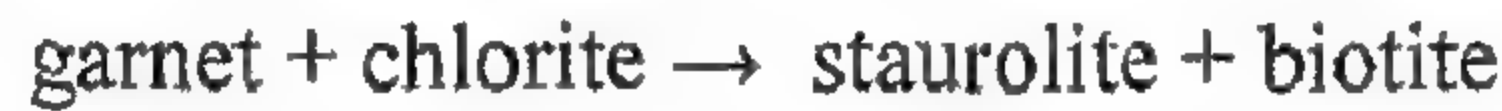
شكل ٢-٢٧: (أ) هيئة توأمية صليبية للستوروليت (١,٥X٢,٥X٣ سم) بالرخام من كارولينا الشمالية، الولايات المتحدة الأمريكية (©John Betts - Fine Minerals). (ب) هيئة توأمية على هيئة حرف إكس (X) للستوروليت (Voir la grande image). (ج) صورة ميكروسكوبية لبلورة كاملة الأوجه للستوروليت وبها مكتنفات من البيوتيت والكوارتز والجارنت من صخور الميتابيليت (بالضوء المستقطب). (د) بورفيروبلاستات من الستوروليت أصفر اللون.

<http://www.geosci.unc.edu/Petunia/IgMetAtlas/minerals/staurolite.UX.html>

الصلادة = ٧-٧,٥. الإنقسام ضعيف في اتجاه واحد. المكسر غير مستوي إلى محاري والوزن النوعي = ٣,٦٥-٣,٧٥. يظهر المعدن تحت الميكروسكوب بلون أصفر أو بني فاتح وغالباً ما يُظهر تغير لوني. التضاريس عالية موجبة. يُظهر المعدن ألوان تداخل من الرتبة الأولى. المعدن ثنائي المحور موجب وتبلغ معاملات الإنكسار ألفا $(\alpha) = 1,736 - 1,747$ وبيتا $(\beta) = 1,740 - 1,754$ وجاما $(\gamma) = 1,745 - 1,762$. تبلغ قرينة الإنكسار المزدوج $(\delta) = 0,009 - 0,015$ والزاوية البصرية $(2V) = 80^\circ - 88^\circ$.

التواجدات والصحية المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد الستوروليت على شكل بورفيروبلاست بصخور الميتابليت (شكل ٢-٢٧). يتكون الستوروليت عند درجة حرارة ٥٠٠-٥٥٠ درجة مئوية على حساب كل من الجارنت والكلوريت أو الكلوريتويد حسب التفاعلات التالية:



بيوتيت ستوروليت كلوريت جارنت



كلوريت جارنت ستوروليت كلوريتويد

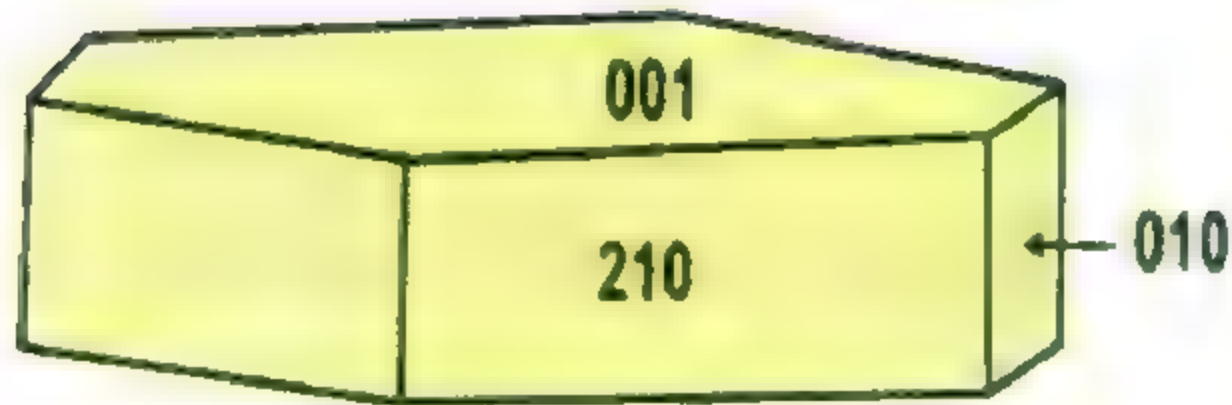
وتشمل المعادن المصاحبة على كل من الجارنت والبيوتيت والمسكوفيت والكيانيت والكوارتز. ومن أشهر أماكن تواجده: جبال الألب بسويسرا وإيطاليا وفرنسا واسكتلندا والعديد من المناطق بالولايات المتحدة الأمريكية.

الكلوريتويد Chloritoid



يأتى اسم المعدن نسبةً إلى مجموعة معادن الكلوريت.

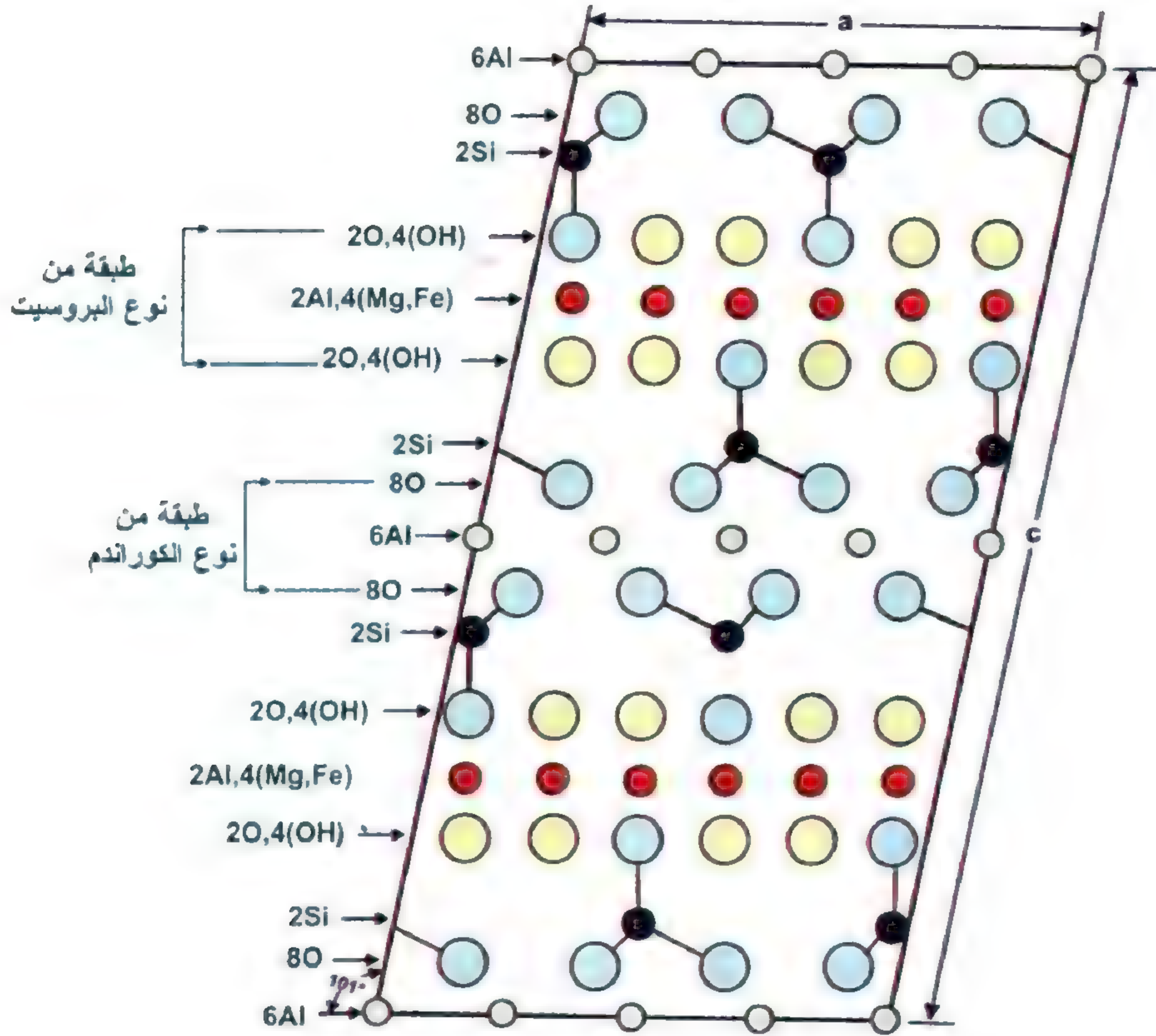
البنية البلورية Crystal structure



يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ = ٩,٤٨ أنجستروم، ب = ٥,٤٨، ج = ١٨,١٨ أنجستروم. مجموع

ما تملكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 6$ مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة

الفراغية C2/C. تتواجد بلورات المعدن على شكل صفائح متورقة ورقيقة أو على هيئة كتلية أو فتاتية. تشيع التوأمية بالمستوى {001}.



شكل ٢-٢٨: البنية البلورية للكلوريتويد.

تتكون البنية البلورية للكلوريتويد من طبقات متبادلة عمودية على المحور البلوري (c). هناك نوعين من الطبقات، إحداهما تشبه البروسيت $Mg(OH)_2$ والأخرى تشبه الكوراندوم Al_2O_3 . تتصل هذه الطبقات فيما بينها عن طريق وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والروابط الهيدروجينية.

كيمائية المعدن Mineral chemistry

لا يختلف التركيب الكيميائي للكلوريتويد عن صيغته الكيميائية $[(Fe,Mg)Al_2SiO_5(OH)_2]$ ، ولكن غالباً ما يكون غنياً بالحديد مع اختلاف النسبة بين الحديد والماغنسيوم (جدول ٢-٧). وهناك أحياناً نوع من

جدول ٢-٧: التحليل الكيميائي للكلوريتويد من مناطق مختلفة.

١	٢	٣	٤
SiO ₂	٢٤,٢٩	٢٤,٢٠	٢٣,٥٣
TiO ₂	١,٠٣ >	١,٠٠	١,٠٠
Al ₂ O ₃	٤١,٦٩	٤١,٠٥	٣٨,٩٠
FeO	٢٤,٤٥	٢١,٦٣	٢٥,٦١
MnO	١,٠٦	١,٣٠	١,٠٩
MgO	٢,٣١	٤,٠٥	١,١٠
CaO	٢,٣١	١,٠٣	١,٠٠
Na ₂ O	١,٠٠	١,٠١	١,٠٤
المجموع	٩٣,٨٣	٩١,٢٧	٨٩,٣٦

١٢ ذرة أكسجين

Si	١,٩٤	١,٩٩٧	٢,٠٢
Ti	٠,٠١٨	٠,٠٠	٠,٠٠
Al	٣,٩٢٧	٣,٩٩	٣,٩٤
Fe ²⁺	١,٦٣٦	١,٤٩٣	١,٣٨
Mn	٠,٠٧	٠,٠٢١	٠,٠١٤
Mg	٠,٢٨	٠,٤٩٨	٠,٦٤
Ca	٠,١٩٨	٠,٠٠٣	٠,٠٠٣
Na	٠,٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٠٦

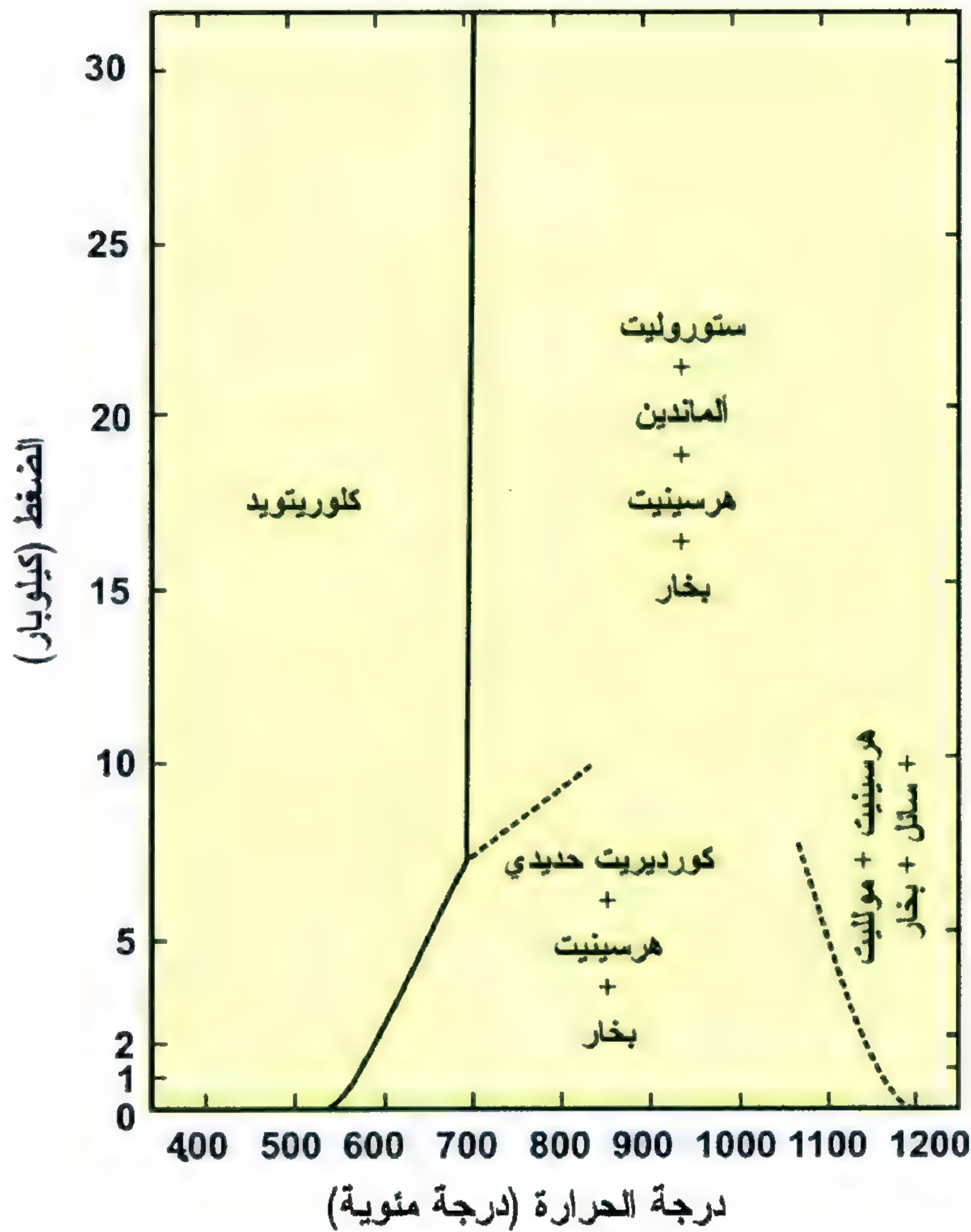
١ = كلوريتويد بصخور الشيست من منطقة سيفريهيسار Sivrihisar بتركيا (وايتني ٢٠٠٢ Whitney).

٢ = كلوريتويد بصخور الميتابليت بمنطقة ساو فرانسيكو São Francisco ، جنوب شرق البرازيل (نيتو وكابي ١٩٩٩ Neto and Caby).

٣ = كلوريتويد بصخور الميتابليت بمنطقة سيكيم Sikkim بالهند الشرقية (دابي وآخرون ٢٠٠٥ Dubey et al.).

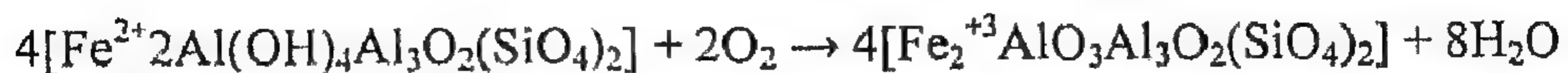
٤ = كلوريتويد بصخور الشيست بمقاطعة بيشي Besshi district بحزام سانجوا المتحول Sanbagawa metamorphic belt (زاو فين كو وآخرين ٢٠٠٥ Zaw Win Ko et al.).

الاستبدال للمنجنيز محل الحديد الثنائي Fe²⁺، ويعرف النوع الغني بالمنجنيز (حوالي ١٧% وزن ذري Atomic weight) باسم أوتريليت Ottrelite. كما



شكل ٢-٢٩: منحنيات أحادية التغير للتفاعلات: كلوريتويد ↔ كورديريت غنى بالحديد + هيرسينيت + بخار، كورديريت غنى بالماندين ↔ ستوروليت + هيرسينيت + بخار، ستوروليت + الماندين ↔ كورديريت غنى بالحديد + هيرسينيت + بخار، كورديريت غنى بالحديد ↔ موليت + سائل + بخار (عن هافيردال ١٩٦١ Halferdahl).

يوجد نوع من الإحلال للحديد الثلاثي Fe^{3+} محل الألومنيوم. يوضح الشكل رقم (٢-٢٩) منحنيات الالهدرجة للكلوريتويد، حيث يبدأ المعدن في فقده للماء عند درجة حرارة حوالى $550^{\circ}C$ ويتم نزع الماء عند $800^{\circ}C$. تصاحب عملية الالهدرجة تأكسد الحديد الثنائي إلى الحديد الثلاثي ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) ويمكن تمثيل التفاعل بالمعادلة التالية:



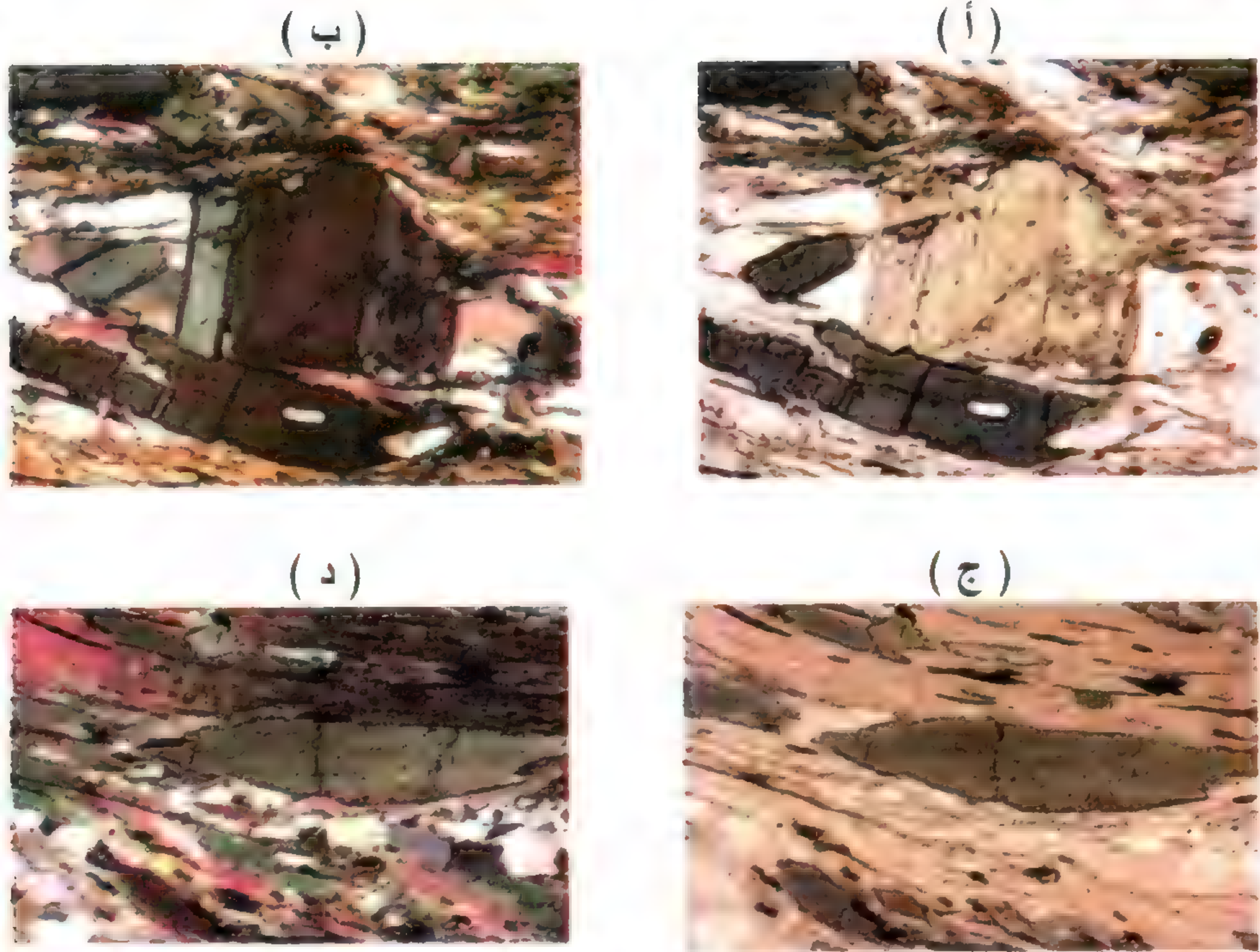
الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

اللون أخضر غامق (شكل ٢-٣٠). البريق لؤلؤي والمخدش رمادي. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة = ٦,٥ والإنقسام ضعيف في المستوى {110} والمكسر غير مستوي والوزن النوعي = ٣,٥. تحت الميكروسكوب، يبدو المعدن عديم اللون إلى أخضر ويُظهر درجات متفاوتة من تغير الألوان (أخضر إلى أزرق). التضاريس عالية وغالباً ما توجد توأمية مع ألوان تداخل عالية، ويتميز المعدن عن الكلوريت بمعاملات انكساره الأعلى وأيضاً تضاريسه العالية، مع تشابه كل منهما في قيمة الزاوية البصرية. المعدن ثنائي المحور موجب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1,713 - 1,730$ وبيتا $\beta = 1,719 - 1,734$ وجاما $\gamma = 1,723 - 1,740$. قرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,010$ والزاوية البصرية $2V = 65 - 75^\circ$.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يتواجد المعدن بالصخور البيليتية ذات التحول الإقليمي وصخور الشيست بنطاقات البيوتيت والجارنت والستوروليت. كما يوجد بعروق الكوارتز والكربونات والبيئات الحرمائية الأخرى. ومن المعادن المصاحبة: المسكوفيت والكلوريت والستوروليت والجارنت والكيانيت والكوارتز والميكا. كما يوجد الكلوريتويد، ولكن نادراً، بالصخور المتحولة تحت ظروف الضغط المرتفع مع صحبة من الجلوكوفان بسحنة الشيست الأزرق، ومصاحباً للبيزوكسين والأمفيبول بسحنة الإكلوجيت. هناك العديد من الأماكن التي يتواجد فيها الكلوريتويد أهمها: روسيا (جبال الأورال) وسويسرا والنمسا واسكتلندا وإنجلترا والولايات المتحدة الأمريكية وكندا وأستراليا.

الاستخدامات Uses: لا يوجد.



شكل ٢-٣٠: (أ) بلورة من الكلوريتويد تظهر أقصى درجة تغير لوني (بالضوء المستقطب)، (ب) نفس البلورة ولكن تحت منشوري نيكول حيث تظهر التوأمية المتعددة وألوان التداخل المميزة للكلوريتويد (www.ucl.ac.uk/~ucfbrxs/PLM/chloritoid.html). (ج) بلورات من الكلوريتويد خضراء اللون على هيئة نصلية (تحت الضوء المستقطب). (د) الصورة "ج" ولكن تحت منشوري نيكول (http://www.nslc.ucla.edu/pet/mineral_html/Chloritoid.html).

الтитانييت (السفين) Titanite (Sphene)

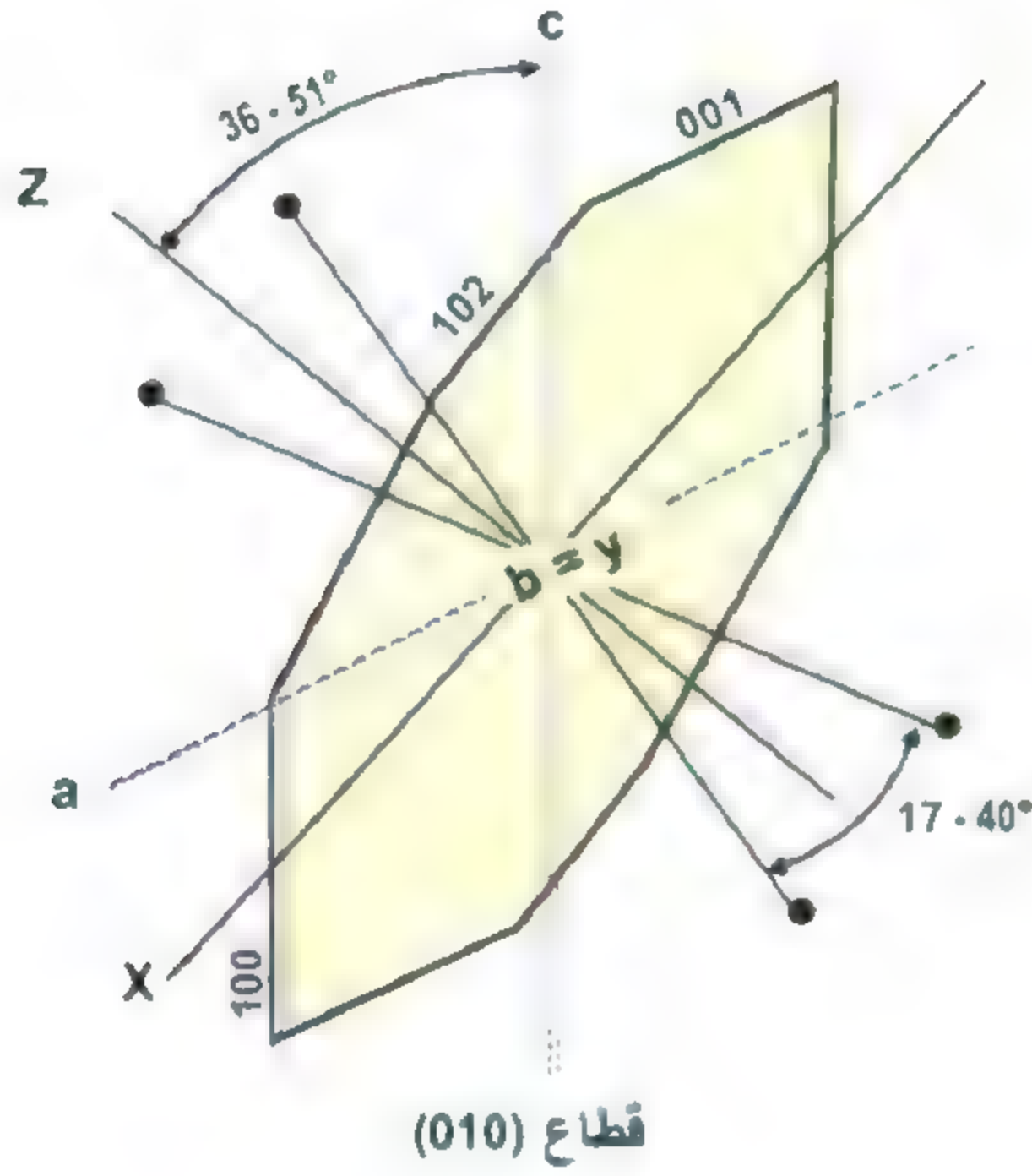


يعكس الاسم المحتوى العالي للـتيتانيوم، كما أطلق عليه قديماً اسم "سفين" والتي تأتي عن كلمة يونانية تعني "وتد Wedge" ويرجع ذلك للهيئة البلورية للمعدن.

البنية البلورية Crystal structure

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ= ٦,٥٦، ب= ٨,٧٢، ج= ٧,٤٤ أنجستروم (شكل ٢-٣١). مجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات (Z)= ٤. مجموعة النقطة 2/m والفراغية

C2/C. تتواجد بلورات المعدن على شكل أوتاد. وبشكل نادر، توجد البلورات على الهيئة الكتلية أو العمدانية. تتكون البنية البلورية للتيتانيت من وحدات ثماني الأوجه بها ذرات التيتانيوم في المركز ومحاطة بستة ذرات من

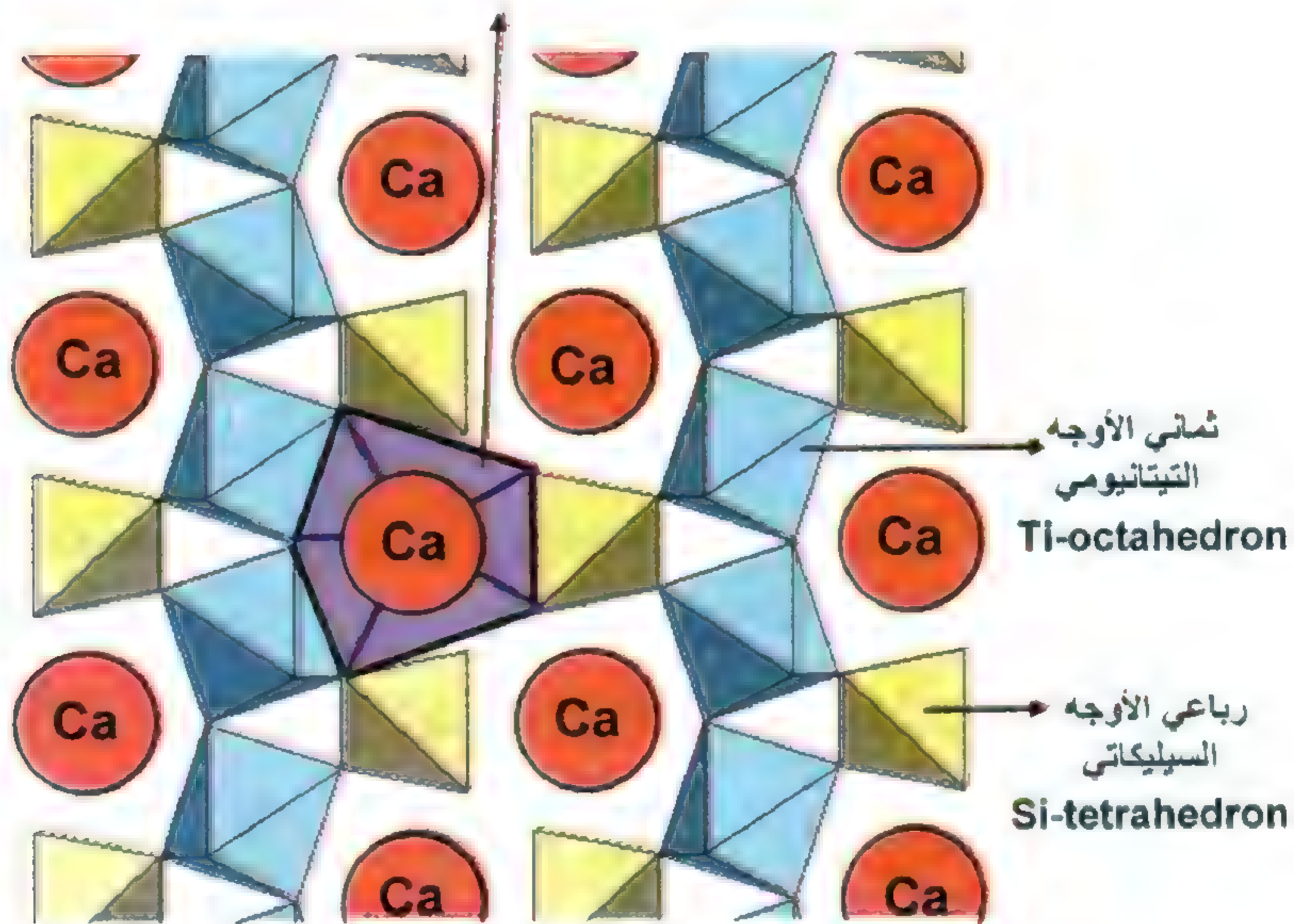


شكل ٢-٣١: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في قطاع (010) في بلورة لمعدن التيتانيت.

الأكسجين (ثماني الأوجه التيتانيومي TiO_6). تشكل تلك الوحدات سلسلة متصلة ومشوهة على شكل زجراج وموازية للمحور البلوري "c" عن طريق ذرات الأكسجين بأركانها المتقابلة. تشغل وحدات رباعي الأوجه السيليكاتي الفجوات بين تلك الوحدات، بينما تشغل ذرات الكالسيوم (متعدد الأوجه الكالسيومي) الفجوات الواسعة بين السلاسل المكونة من وحدات ثماني الأوجه التيتانيومي ورباعي الأوجه السيليكاتي (شكل ٢-٣٢).

متعدد الأوجه الكالسيومي

Ca-polyhedron



شكل ٢-٣٢: البنية البلورية للتيتانيت.

كيمياء المعدن Mineral chemistry

- يوضح الجدول رقم (٢-٨) التركيب الكيميائي للتيتانيت، حيث يوجد به العديد من العمليات الإحلالية، من أهمها:
- إحلال الصوديوم والعناصر الأرضية النادرة والمنجنيز والسترنشيوم والباريوم محل الكالسيوم.
 - إحلال الألومنيوم والحديد الثلاثي والماغنسيوم والنيوبيوم والتانتالم والفانديوم والكروميوم محل التيتانيوم.
 - إحلال الهيدروكسيل (OH) والفلورين والكلورين محل الأكسجين.

الصفات الفيزيائية والبصرية Physical and optical characteristics

اللون أخضر أو أصفر أو أبيض أو بني أو أسود (شكل ٢-٣٣). البريق الماسي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٥,٥. الإنقسام جيد منشوري موازي للمستوى {110} وضعيف موازي للمستوى {100}. المكسر غير مستوي ويتراوح الوزن النوعي بين ٣,٣ و ٣,٦. تحت الميكروسكوب، يتميز المعدن بالتضاريس العالية جداً وأيضاً قرينة الإنكسار المزدوج العالية. المعدن ثنائي المحور موجب. معاملات الإنكسار ألفا $(\alpha) = 1,843 - 1,950$ وبيتا $(\beta) = 1,870 - 2,034$ وجاما $(\gamma) = 1,963 - 2,110$. قرينة الإنكسار المزدوج $(\delta) = 0,100 - 0,192$. والزاوية البصرية $(2V) = 17^\circ - 40^\circ$.

التواجدات والصحبة المعدنية Occurrences and mineral association

يكثر وجود التيتانيت كمعدن إضافي بالصخور النارية الحامضية والمتوسطة. كما يوجد بالعديد من الصخور المتحولة والعروق الحرمائية. من المعادن المصاحبة: الكلوريت والكالسيت والكوارتز والزركون والفلسبار والأمفيبول والبيوتيت. ومن أهم أماكن تواجده: منطقة جيلجيت بباكستان و جبل فيزيوفيس Mt Vesuvius بإيطاليا وجزيرة كولا Kola و Penninsula بروسيا وأونتاريو بكندا وكاليفورنيا ونيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية.

جدول ٢-٨: أمثلة للتحليل الكيميائي للتيثانيت من مناطق مختلفة.

١	٢	٣	
١,١٠	١,٠٤	١,٠٣	Na ₂ O
٢٦,٢١	٢٨,٨٩	٢٧,٥١	CaO
١,٤١	٢,٣٥	٨,٣٠	Al ₂ O ₃
٣٦,٨٠	٤١,١٠	٢٨,٠٨	TiO ₂
٢٩,٥٥	٣٥,٠٠	٣١,٠٠	SiO ₂
١,٩٦	١,٣١	١,٨٤	FeO
١,١١	١,٠٣	١,١٠	MnO
١,١٠	١,٢٤	١,٠٤	MgO
١,١٠	١,١٠	١,٠١	K ₂ O
١,٢٧	١,٠٤	٣,٢٧	F
١,١٠	١,١٠	١,٠٧	Cl
٩٥,٢٠	٩٩,٩٥	٩٨,١٥	المجموع

كاتيون بوحدة الصيغة *

١,١٠	١,١٠	١,١٠	Na
٣,٨٠	٤,٠٩	١,٩٨٧	Ca
١,٢١	١,٣٧	١,٣٢٧	Al
٣,٨٢	٣,٤٨	١,٦٥٦	Ti
٤,٠١	٤,٠٩	١,٠٠٤	Si
١,١١	١,١٤	١,٠٢٢	Fe
١,١٠	١,١٠	١,١٠	Mn
١,١٠	١,٠١	١,٠٠٢	Mg
١,١٠	١,١٠	١,١٠	K

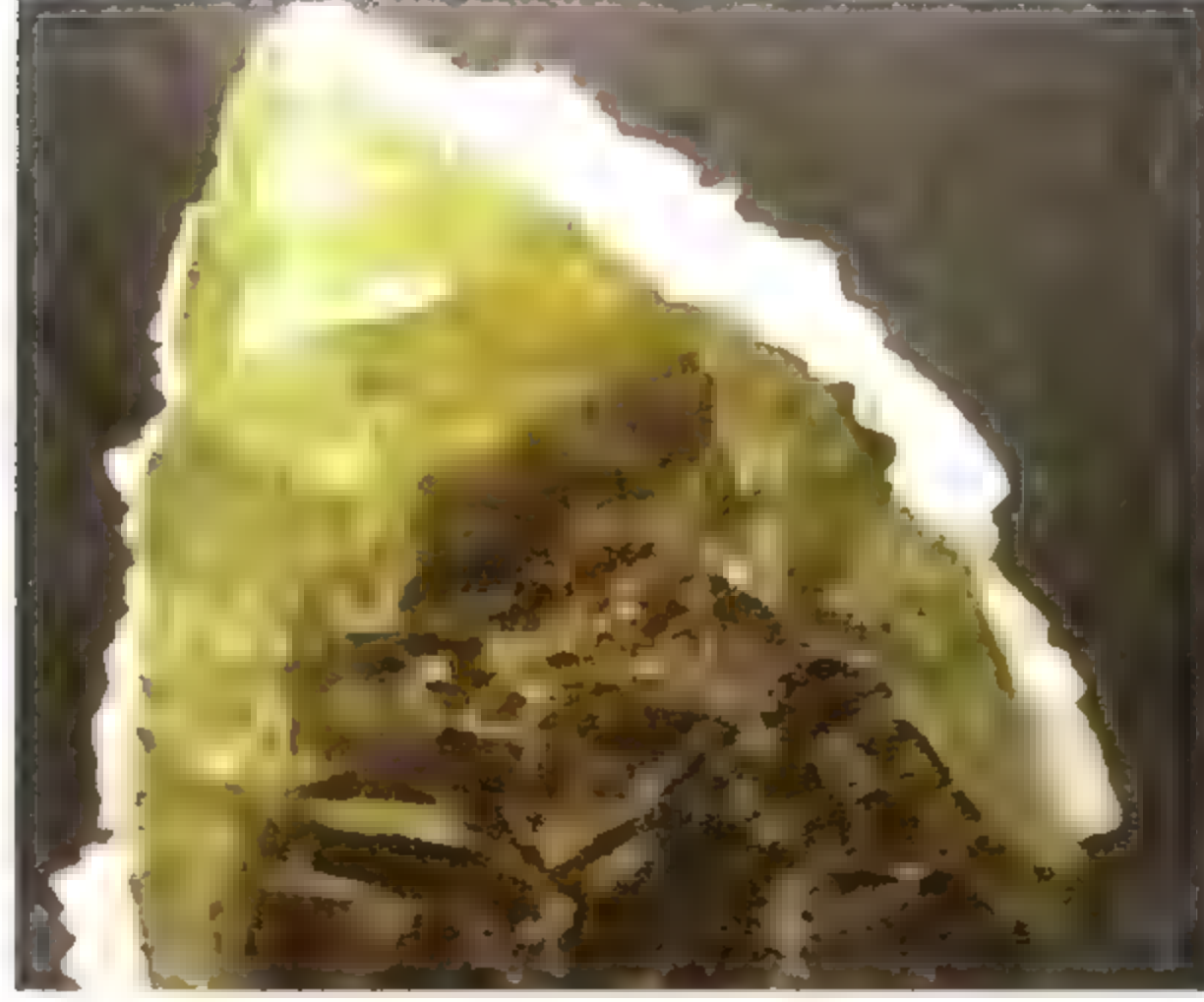
* تم حساب الكاتيونات بناءً على ٢٠ ذرة أكسجين للتحليل ١-٢، و ٤,٥ ذرة أكسجين + ٠,٥ ذرات هيدروكسيل وكلورين وفلورين (OH, F, Cl) للتحليل رقم ٣.

١ = تيثانيت بصخور الجرانيت بمنطقة أم تاجر Um Tagher، الصحراء الشرقية، مصر (حلمي وآخرون ٢٠٠٤ Helmy et al.).

٢ = تيثانيت بصخور الجرانيت بمنطقة أم عنيب Um Anab، الصحراء الشرقية، مصر (حلمي وآخرون ٢٠٠٤ Helmy et al.).

٣ = تيثانيت برواسب السكارن بمنطقة المدحيق Al-Madhiq، المملكة العربية السعودية (أحمد وحريري ٢٠٠٦ Ahmed and Hariri).

(أ)



(ب)



شكل ٢-٣٣: (أ) بلورات خضراء اللون للتيتانيت مع كوارتز من منجم فازيندا روبين بيمينتا بالبرازيل
Fazenda Rubin Pimenta Mine (٨ X ٥,٥ X ١,٥ سم) (ب) بلورات توأمية بنية اللون للتيتانيت
من منطقة بينتال Binntal بسويسرا.

(<http://www.mineralatlas.com/mineral%20photos/T/titanite%20cp.htm>).

الاستخدامات Uses

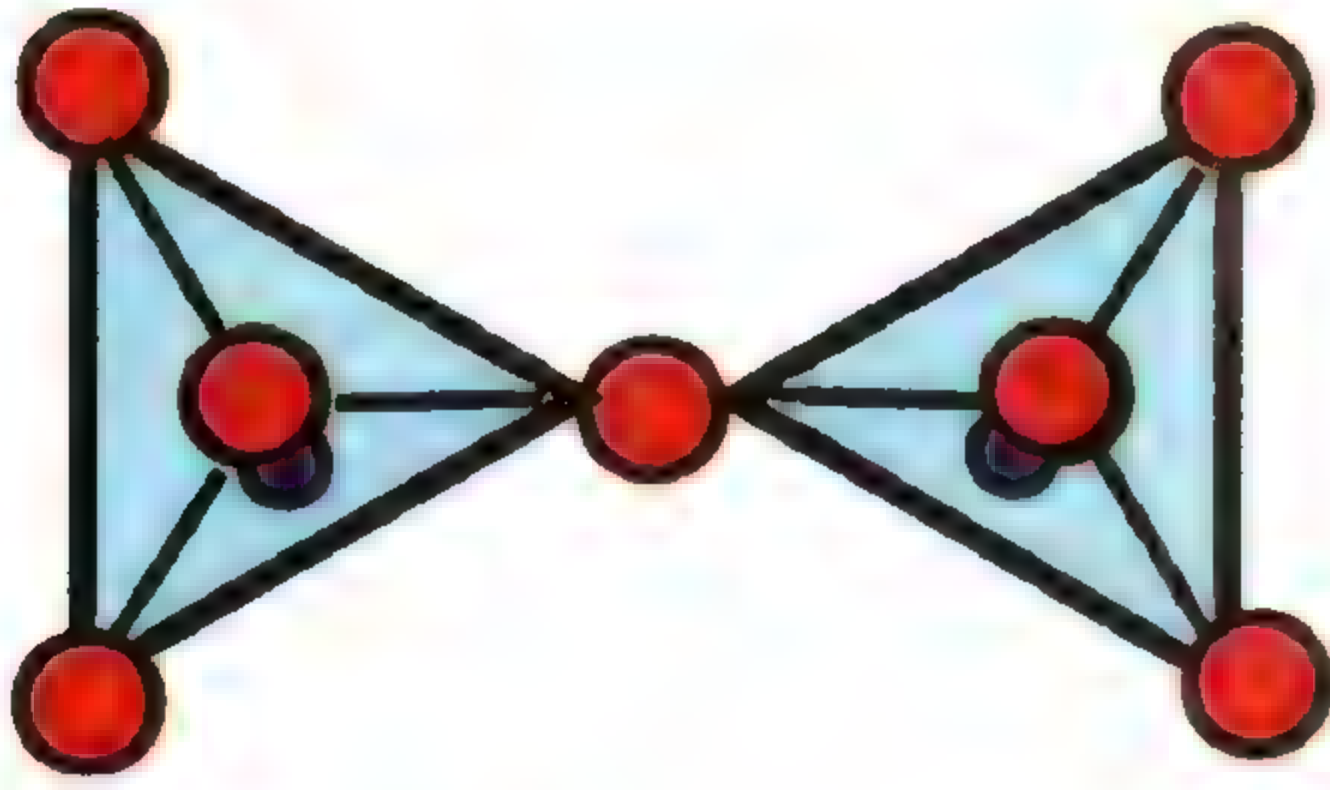
يأتى التيتانيت بعد الروتيل كمصدر هام للتيتانيوم. يتميز عنصر التيتانيوم بأنه غير قابل للتآكل وله درجة إنصهار عالية جداً (١٨٠٠ درجة مئوية) كما أن له قوة تحمل عالية وتستخدم سبائك التيتانيوم فى تطبيقات كثيرة بالصناعات المتقدمة مثل الطائرات والصواريخ ومركبات الفضاء وفى أدوات الجراحه. كما يستخدم أكسيد التيتانيوم كصبغة بيضاء فى الدهانات ليحل محل الرصاص نظراً لما للرصاص من خطورة على الصحة العامة. يبلغ ما يتم إستهلاكه من التيتانيوم فى صناعة الصبغات حوالى ٩٥% من مجمل الإنتاج. ومن أمثلة المواد التى تستخدم فيها صبغات التيتانيوم: البلاستيك والمطاط والنسيج والجلود والسيراميك والورق. كما تستخدم مركبات التيتانيوم فى محطات تحلية المياه وأجزاء من الأدوات الكهربائية والمنتجات الزجاجية.

الباب الثالث

المعادن السيليكاتية المزدوجة

Sorosilicates

يشترك في هذه المعادن إثنان من رباعي الأوجه السيليكاتي Tetrahedron مع ذرة أكسجين واحدة حيث تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٧:٢ (شكل ١-٣). وتنقسم هذه المعادن إلى عدة أقسام اعتماداً على وجود أو عدم وجود أنيونات إضافية مع مجموعة Si_2O_7 وهذه الأقسام هي:



شكل ١-٣: ترابط رباعي الأوجه السيليكاتي في السوروسيليكات Si_2O_7 Si O

١- قسم لا يحتوي على أي أنيونات

إضافية مثال: باريليت

Barylite $\text{BaBe}_2\text{Si}_2\text{O}_7$

وجيتنيسيت Gittinsite

CaZrSi₂O₇ وكيفيت Keiviite

$(\text{Y}, \text{Yb})_2\text{Si}_2\text{O}_7$ وإيترياليت Yttrialite $(\text{Y}, \text{Th})_2\text{Si}_2\text{O}_7$.

٢- قسم يحتوي على أنيونات إضافية من الأكسجين والفلورين

والهيدروكسيل بالإضافة للماء مثال: بيرتارانديت Bertrandite

$\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$ واللاوسونيت Lawsonite $\text{CaAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

والفيت Ilvaite $\text{CaFe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})$

٣- قسم يحتوي على مجموعات معزولة من Si_3O_{10} ومجموعات أكبر غير

حلقية (Insular Si_3O_{10} and larger noncyclic groups) مثال: أميتوفيت

$\text{Ca}_3\text{Be}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ وأمينوفيت Aminoffite وترابزونيت Trabzonite

$\text{Ca}_4\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ وزيونيت Zunyite $\text{Al}_3\text{O}_4(\text{Si}_5\text{O}_{16})(\text{OH}, \text{F})_{18}\text{Cl}$.

٤- قسم يحتوي على مجموعات أكبر من رباعي الأوجه معزولة ومختلطة

ومنفردة ومجموعات أكبر من رباعي الأوجه (Insular, mixed, single)

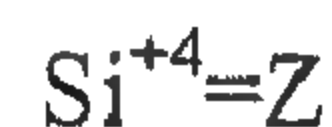
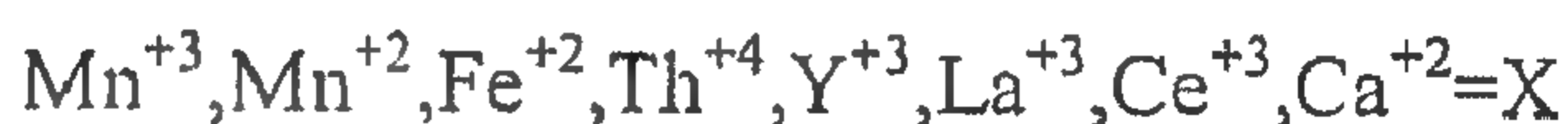
(Epidote and larger tetrahedral groups) مثال: مجموعة الإبيدوت

ومجموعة البيمبيليت Pumpellyite والفيزيوفيانيت Vesuvianite.

وسيهتم هذا الباب بأكثر المجموعات شيوعاً وهي مجموعة الإبيدوت بالإضافة إلى كل من الفيزيوفيانيت والإلفيت.

مجموعة الإبيدوت

تتبلور المعادن الموجودة في مجموعة الإبيدوت إما في فصيلة المعيني القائم أو في فصيلة الميل الواحد. تتكون البنية البلورية لهذه المعادن من سلاسل ثمانية الأوجه من AlO_6 و $AlO_4(OH)_2$ مرتبطة بمجموعات منفصلة من SiO_4 و Si_2O_7 . توجد في هذه المجموعة ذرات الألومنيوم Al في مركز ثمانى الأوجه Octahedral sites مرتبطة بعدد ٦ أنيون أكسجين أو ٤ أنيون أكسجين و ٢ أنيون هيدروكسيل. كما تمتلئ بعض أماكن ثمانى الأوجه الأخرى بكل من ذرات الألومنيوم والحديد الثلاثى. يحدث بوجه عام نوع من الإحلال لعناصر أخرى محل العناصر الموجودة في مجموعة معادن الإبيدوت وخاصة المتبلورة في فصيلة الميل الواحد كما يحدث ذلك أيضاً في معدن الزوسيت Zoisite المتبلور في فصيلة المعيني القائم حيث يحل الحديد الثلاثى محل الألومنيوم. ويمكن تلخيص تركيب مجموعة الإبيدوت في الصيغة $X_2Y_3Z_3(O,OH,F)_{13}$ حيث:



يمكن كتابة تركيب أهم المعادن المكونة لهذه المجموعة كالآتى:



يعرض جدول (٣-١) أهم المعادن المكونة لمجموعة الإبيدوت وتركيبها الكيميائي حسب تقسيمات دانا Dana classification. تشكل مجموعة معادن الإبيدوت جزءاً هاماً من المعادن المكونة للصخور. ويعتبر معدن الألائيت بوجه خاص ذو أهمية جيوكيميائية لما يحتويه من عناصر أرضية نادرة كالسيريوم وعناصر مشعة كالثوريوم. وغالباً ما يوجد كمعدن إضافي Accessory mineral في الصخور الحاوية عليه. أما الزوسيت فهو متعدد شكلي لمعدن الكليnozوسيت ويتبلور في فصيلة المعيني القائم وله بنية مميزة ويتواجد في نفس الصلابة المعدنية لمعدن الإبيدوت. توجد مجموعة معادن الإبيدوت في العديد من أنواع الصخور منها مايتكون بالقرب من سطح الأرض كالصخور الرسوبية أو تحت ضغط عالي كالصخور المتحولة أو كنواتج تجوية لبعض معادن الصخور النارية. ويمكن اعتبار معادن هذه المجموعة كمكافئ منخفض الحرارة وعالي الضغط لمعادن البلاجيوكليز الغنية بالكالسيوم. لذلك فلها أهمية متساوية لمعادن الفلسبار في دراسة أصل الصخور Petrogenesis. كما أن معادن الإبيدوت هي أهم المعادن الحاوية على كاتيون الحديد الثلاثي وتعطي معلومات عن نشاط وتركيز الأكسجين Oxygen fugacity وعن حالة تأكسد الصخور الحاوية عليها (ليشر وفرانتز ٢٠٠٤ Liebscher and Frantz). تشارك معادن الإبيدوت بقدر ملحوظ في تركيزات العناصر الشحيحة مثال المنجنيز والفانديوم والرصاص والإسترونشيوم والعناصر الأرضية النادرة REE وذلك في الصخور والرواسب الحاوية على تلك المعادن.

جذبت مجموعة معادن الإبيدوت إهتمام العديد من العلماء في الأعوام الأخيرة لما لها من أهمية كبيرة من الناحية الجيوكيميائية ومن ناحية دراسة أصل تكوين الصخور وبوجه خاص زاد الإهتمام بالدراسات التجريبية والإسبكتروسكوبية (بيرد وشبيلر ٢٠٠٤ Bird and Spieler، ناجاشيم ٢٠٠٦ Nagashim). في عام ١٩٨٦ قام دير وآخرون Deer et al بإصدار دراسة شاملة عن هذه المجموعة. وفي عام ١٩٩٠ تم عقد مؤتمر دولي عن مجموعة معادن الإبيدوت في مدينة نيوكيرشين بالنمسا Neukirchen, Austria وقد قام

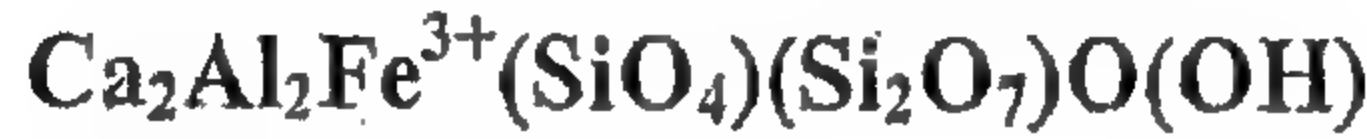
بتنظيم هذا المؤتمر الجمعية النمساوية لعلم المعادن. وفي عام ١٩٩٩ أقيم إجتماع في مدينة ستراسبورج (EUG 10 in Strasbourg) تحت عنوان الإتجاهات الحديثة في الدراسات الخاصة بمجموعة معادن الإبيدوت. والذي ألقى الضوء على أهمية هذه المجموعة في مجال علوم الأرض. وفي عام ٢٠٠٤ تم إصدار عدد خاص من مراجعات في المعادن والجيوكيمياء Reviews in Mineralogy and Geochemistry التابعة لجمعية علم المعادن

جدول ٣-١: أهم معادن مجموعة الإبيدوت

اسم المعدن	التركيب الكيميائي
ألانيت (سيريوم)	Allanite-(Ce) (Ce,Ca,Y) ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
ألانيت (لانثانم)	Allanite-(La) Ca(REE,Ca)Al ₂ (Fe,Fe)(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
ألانيت (إيتريم)	Allanite-(Y) (Y,Ce,Ca) ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
كلينوزوسيت	Clinozoisite Ca ₂ Al ₃ (SiO ₄) ₃ (OH)=Ca ₂ AlAl ₂ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
ديساكيسيت (سيريوم)	Dissakisite-(Ce) Ca(Ce,REE)(Mg,Fe)(Al,Fe) ₂ Si ₃ O ₁₂ (OH)
دولاسيت (سيريوم)	Dollaseite-(Ce) CaCeMg ₂ AlSi ₃ O ₁₁ (OH,F) ₂
إبيدوت	Epidote Ca ₂ (Fe,Al)Al ₂ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
هانكوكيت	Hancockite (Ca,Pb,Sr) ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
كريستوفيت (سيريوم)	Khristovite-(Ce) (Ca,REE)(Ce,REE)(Mg,Fe,Cr,Ti,V,Al) Mn Al(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)(OH)(F,O)
ميوكينيت	Mukhinite (Ca ₂ Al ₂ V)(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
بيموننتيت	Piemontite Ca ₂ (Mn,Fe ³⁺ ,Al) ₂ Al(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
إسترونشيوبيموننتيت	Strontiopiemontite (Ca,Mn)(Sr,Ca)Mn(Al,Mn,Fe) ₂ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
أندروسيت (لانثانم)	Androsite-(La) (Mn,Ca)(La,Ce,Ca,Nd)AlMnMn(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
فيربالانيت (سيريوم)	Ferriallanite-(Ce) CaCe(Fe,Fe,Al) ₃ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
تويدليليت	Tweddillite CaSr(Mn,Fe) ₂ Al(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
جاتيليت (سيريوم)	Gatelite-(Ce) (Ca,Ce,La,Nd) ₄ (Al,Mg,Fe) ₄ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄) ₃ (O,F,OH) ₇
نايجاتيت	Niigataite CaSrAl ₃ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)
فاستمانلانديت (سيريوم)	Vastmanlandite-(Ce) Ce ₃ CaMg ₂ Al ₂ Si ₅ O ₁₉ (OH) ₂ F
IMA2002-049	(Mn,Ca)(Ce,REE)AlMnMn(Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)
ديساكيسيت (لانثانم)	Dissakisite-(La) (Ca,Fe,Th)(REE,Ca)(Al,Cr,Ti) ₂ (Mg,Fe,Al)(SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH,F):La>Ce
IMA2004-015	(Mn,Ca)(REE)VAIMn(Si ₂ O ₇)(SiO ₄)O(OH)

الأمريكية تحت عنوان معادن الإبيدوت. تناول هذا الإصدار أحدث الاتجاهات في دراسة معادن الإبيدوت وأهميتها الجيولوجية. بناءً على ذلك توافر في السنوات العشر الماضية قاعدة لبيانات الديناميكا الحرارية لمعادن الإبيدوت Thermodynamic database بالإضافة إلى المزيد من المعلومات عن بنية وظروف نشأة معادن هذه المجموعة. وفيما يلي نعرض لأهم المعلومات المتوفرة للأنواع الأكثر شيوعاً من معادن هذه المجموعة.

الإبيدوت Epidote



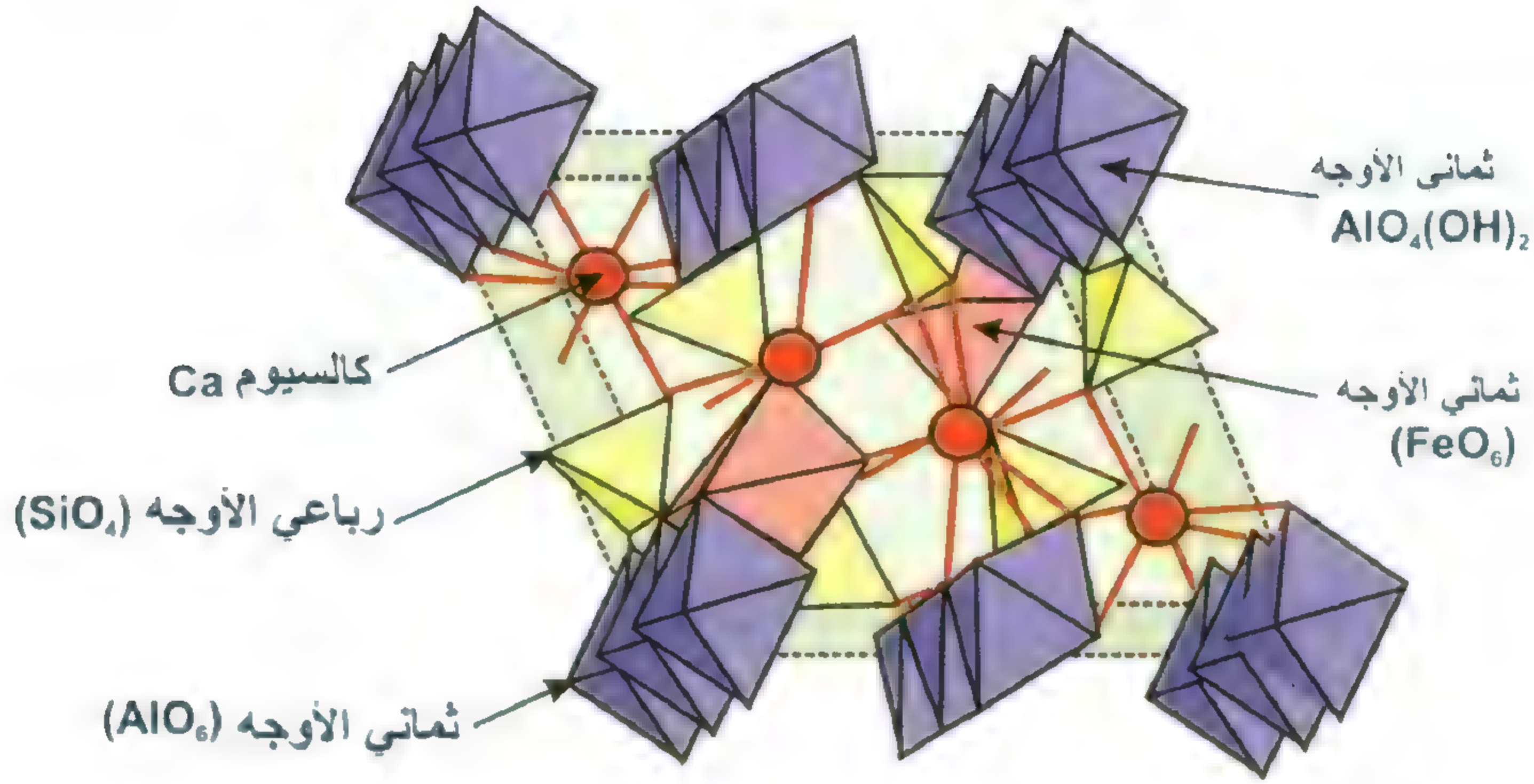
يكون كل من الإبيدوت Epidote $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ والكلينوزوسيت Clinozoisite $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ والبيموننتيت Peimontite $\text{Ca}_2(\text{Mn}, \text{Fe}^{+3}, \text{Al})_2\text{Al}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ سلسلة متشابهة الأشكال Isomorphous حيث يتشابه كل منها في الشكل البلوري ويختلف في التركيب الكيميائي. لذلك سيتم مناقشة الثلاث معادن مجتمعة في هذا الجزء من الباب.

سُمي معدن الإبيدوت بهذا الاسم بناءً على الكلمتين الإغريقيتين Epi و Didonai والمعنى يأتي من الملاحظة بأن هذا المعدن غالباً ما يكون أحد جوانب بلوراته أطول من الجوانب الأخرى هذا بالمقارنة مع معادن أخرى كالأمفيبول. البيستاكيت Pistacite هو اسم آخر للمعدن وتعتمد تسميته على لونه الأخضر المميز Pistachio green color (أنظر شكل ٣-٦). وعلى الرغم من أن بلورات الإبيدوت لا تعتبر من ضمن الأحجار الكريمة إلا أن البلورات التي تظهر هذا اللون الأخضر المميز توضع ضمن البلورات ذات الألوان الفريدة وتستخدم كأحجار للزينة. وسمى معدن بيموننتيت بهذا الاسم من منطقة بيدمونت بشمال غرب إيطاليا والمعدن له اسم آخر هو بيدموننتيت Peidmontite. وسمى الكلينوزوسيت بهذا الاسم نظراً لتبلوره في فصيلة الميل الواحد وتشابه تركيبه الكيميائي مع الزوسيت.

البنية البلورية

يتبلور الإبيدوت في فصيلة الميل الواحد، مجموعة النقطة $2/m$. البلورات منشورية عادة لها إستطالة موازية للإتجاه $\{010\}$. يغلب على المعدن الهيئة الأليافية وأحياناً الكتلية. التوأمية موازية شائعة عند المستوى $\{100\}$ وأقل شيوعاً في المستوى $\{001\}$. البنية في معدن الإبيدوت معقدة نسبياً حيث تتكون من رباعي الأوجه المنفرد SiO_4 Single silicate tetrahedrons، ورباعي الأوجه المزدوج Si_2O_7 Double silicate tetrahedrons. يكتب التركيب الكيميائي للإبيدوت $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ بطريقة معينة تعكس تنظيم البنية الخاصة به حيث تكون ذرتي الألومنيوم سلاسل متوازية من ثمانيات الأوجه AlO_6 و $\text{AlO}_4(\text{OH})_2$ والتي توجد مرتبطة مع بعضها من خلال الأحرف وتتراص موازية للمحور البلوري "b". وينطبق هذا المحور على المحور ثنائي التماثل الوحيد في الفصيلة. تكون هذه السلاسل المتوازية أساس البنية البلورية لمعدن الإبيدوت. ويرتبط ثمانى أوجه آخر منعزل بداخله ذرة حديد بأحد هذه السلاسل. كما تعمل مجموعات السيليكات وأيونات أخرى على ربط هذه السلاسل مع بعضها البعض (شكل ٣-٢)، حيث يقع أيون الكالسيوم الكبير في الفراغات مابين ثمانيات الأوجه للألومنيوم أو مابين ثمانيات الأوجه للحديد مع رباعي الأوجه السيليكاتى. ويرجع الشكل المنشورى (شكل ٣-٣، ٤-٣) إلى التوازي الموجود في مستويات هذه السلاسل. ويوجد الإنقسام الكامل في أماكن الروابط الضعيفة مابين هذه المستويات (شكل ٣-٣). تبلغ أبعاد خلية الوحدة بالمعدن 8.89 ، 5.62 ب، 10.23 ج أنجستروم ويبلغ ماتملكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 2$.

يأخذ البيموننتيت نفس الشكل البلورى للإبيدوت حيث يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد، المجموعة الفراغية $P2_1/m$ وأبعاد خلية الوحدة فيه هي 8.843 أ و 5.665 ب و 10.15 ج أنجستروم ويبلغ ماتملكه خلية الوحدة أيضاً من الذرات $(Z) = 2$ وتبلغ زاوية بيتا المنفرجة فيه والتي تميز



شكل ٣-٢: البنية البلورية لمعدن الأبيدوت.

فصيلة الميل الواحد ١١٤,٥ درجة. تأخذ البلورات شكل منشورى أو إبرى. وبالنسبة للكلينوزوسيت فيأخذ نفس الشكل البلورى لكل من الإبيدوت والبيمونتيت حيث يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، المجموعة الفراغية $P2_1/m$ وأبعاد خلية الوحدة فيه هي $a = 8,879$ ، $b = 5,683$ ، $c = 10,115$ أنجستروم ويبلغ مامتلكه خلية الوحدة أيضاً من الذرات $Z=2$ وتبلغ زاوية بيتا المنفرجة فيه ١١٥,٥ درجة. تأخذ البلورات شكل منشورى أو إبرى والتوأمية غير شائعة ولكن أحيانا يوجد النوع المتوازى فى الإتجاه $\{100\}$. وبمقارنة الصفات البلورية للمعادن الثلاث يتضح التشابه القريب جداً فى البنيات البلورية وأبعاد خلايا الوحدة فيما بينهم.

كيميائية المعدن

يتكون معدن الإبيدوت من سيليكات الألومنيوم والحديد والكالسيوم حيث يحل الحديد الثلاثى Fe^{3+} محل الألومنيوم. ويقع دائماً التركيب الكيميائى لسلسلة معادن الإبيدوت-كلينوزوسيت Epidote-clinzoisite ما بين $Ca_2Al_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ و $Ca_2Al_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$. كما أن هناك أنواع أخرى من الإبيدوت تحتوى على المنجنيز يقع تركيبها ما بين $Ca_2Fe^{3+}(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ، $Ca_2Mn^{+3}Al_2(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ، $Ca_2Mn_2^{+3}Al(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$. ويوجد أيضاً أنواع أخرى غنية

بالإسترونشيوم والرصاص مثل هانكوكيت Hancockite وتركيبه الكيميائي هو $(Ca_{1.1}Mn_{0.2}Sr_{0.2}Pb_{0.5})Fe^{+3}Al_2Si_3O_{12}$ حيث يحل كل من الإسترونشيوم والرصاص محل الكالسيوم والنوع الغنى بالكروميوم واسمه تاوماويت Tawmawite ويحتوى على ٦,٨% من Cr_2O_3 وتوجد أنواع من البيموننتيت غنية بالإسترونشيوم تسمى سترنشيوبيموننتيت Strontiopiemontite حيث تحتوى على نسبة أكسيد إسترونشيوم تصل إلى ١٣,٨٣% ويتواجد كعروق صغيرة فى رواسب خام المنجنيز المتعرض لتحول منخفض الحرارة. يبين جدول (٢-٣) بعض التحاليل الكيميائية لمجموعة الإبيدوت (كليروزوسيت-إبيدوت - بيموننتيت). فى تجارب الإذابة لمعدن الإبيدوت بواسطة الأحماض القوية مثل حامض النيتريك وحامض الهيدروكلوريك والأكواريجيا، وجد سنال وليفيفورس (٢٠٠٠) Snäll and Liljefors أن الإبيدوت أكثر قابلية للإذابة من معادن أخرى مثل الهورنبلند والبلاجيوكليز والروتيل وأقل قابلية من الألمينيت والبيوتيت والكلوريت ووجدوا أن الحديد هو أكثر عناصر الإبيدوت ذوباناً يليه الألومنيوم فالكالسيوم.

معادن الإبيدوت ذات أهمية جيوكيميائية فى معرفة نشأة الصخور وإعطاء معلومات مفيدة عن حالة التأكسد للصخور الحاوية عليها (ليبشير وفرانز ٢٠٠٤, Liebscher and Frantz). إقترح مياشيرو وسيكى (١٩٥٨) Miyashiro and Seki أن التركيب الكيميائي للإبيدوت يتأثر بدرجة التحول، فعلى سبيل المثال وجدوا أن نسب $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ فى معدن الإبيدوت المتكون تحت ظروف سحنة البيمبيليت-البريهنيت تبلغ حوالى ٠,٣٣ وتزيد هذه النسبة مع زيادة درجة الحرارة. أيد بعض الباحثين لاحقاً هذا الإقتراح مثل أسيدو وآخرين (٢٠٠٠) Asiedu et al. إلا أن آخرين لم يتوصلوا لمثل هذه العلاقة فى الصخور المتحولة مثل بيرسدورفير وداي (١٩٩٥) Beiersdorfer and Day. استخدم شبيجل وآخرون (٢٠٠٢) Spiegel et al. تحاليل العناصر الشحيحة فى معدن الإبيدوت الفتاتى من رواسب مختلفة فى التعرف على مصدر الصخور الحاوية عليه Provenance، وقد توصلوا فى هذه الدراسة

جدول ٣-٢: بعض التحاليل الكيميائية لمعادن الإبيدوت والكلينوزوسيت والبيمونتيت

الأكسيد	١	٢	٣	٤	٥	٦
SiO ₂	٣٩,٠٨	٤٠,٣٦	٣٦,٩٢	٣٩,٠٣	٣٦,٦٣	٣٧,٣١
TiO ₂	---	٠,٠٩	شحيح	٠,٧٧	٠,٢١	٠,٠٦
Al ₂ O ₃	٣٠,٩٦	٣٠,٦٧	٢٢,٢٥	٢٩,٧٦	١٧,٢١	١٨,٢
Fe ₂ O ₃	٤,١٣	٠,٦١	١٥,٢١	٤,٦٤	٦,٨٥	٨,٤٦
Mn ₂ O ₃	---	---	---	---	١٧,٧٨	١٢,٣٣
FeO	٠,٤٢	١,٧٧	٠,٥٧	---	---	---
MnO	٠,٠١	---	٠,٧٥	٠,٢٦	---	١,٨٩
MgO	٠,٠١	٠,٧٤	شحيح	٠,٦٨	٠,٨٥	---
CaO	٢٣,٣٢	٢٢,٦٢	٢٣,١١	٢١,٩٥	١٨,٩٨	٢٠,٦٤
Na ₂ O	---	---	---	٠,٠٢	---	٠,٦٧
K ₂ O	---	---	---	٠,٠٨	---	٠,٣٠
H ₂ O ⁺	١,٨٦	٣,٥٠	١,١٦	١,٩٥	١,٧٥	٠,١٤
H ₂ O ⁻	٠,٠١	---	٠,١٦	---	---	---
المجموع	٩٩,٨	١٠٠,٣٦	١٠٠,١٣	٩٩,١٤	١٠٠,٢٦	١٠٠,١٠

تحليل ١: كلينوزوسيت من عرق Vein في الأمفيبوليت (جونستون ١٩٤٩ Johnston)

تحليل ٢: كلينوزوسيت من كالافيا، فنلندا (٢٠٠١)

<http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/clinozoisite.pdf>

تحليل ٣: إبيدوت من عرق في البيجماتيت باليابان (يوكوياما ١٩٥٧ Yokoyama)

تحليل ٤: إبيدوت من توناليت كالسقولي (شميدت وطومسون ١٩٩٦ Schmidt and Thompson)

تحليل ٥: بيمونتيت من البيجماتيت من الهند (بيلجرامي ١٩٥٦ Bilgram)

تحليل ٦: بيمونتيت من سانت مارسيل بإيطاليا (<http://webmineral.com/data/Piemontite.shtml>)

إلى إمكانية استخدام تركيزات كل من الثوريوم والنيوبيوم والروبيديوم واليورانيوم والباريوم والزنك والتجستين في التمييز فيما بين الصخور المختلفة للمصدر. وعلى الرغم أن معظم هذه العناصر لها قابلية للذوبان إلا أن نسبة الفاقد من هذه العناصر في معادن الإبيدوت الفتاتية لم يؤثر على استخدامها في معرفة الصخور المصدر وقد

تم التأكد من ذلك بمضاهاة نتائج هذه العناصر مع نتائج نظائر الإسترونشيوم والنيوديميوم (Sr&Nd isotopes) فى نفس العينات.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتحكم التركيب الكيميائى لمجموعة الإبيدوت (كلينوزوسيت-إبيدوت-بيموننتيت) إلى حد كبير فى الصفات الفيزيائية والبصرية لها فتزداد الكثافة بزيادة تواجد الحديد والمنجنيز وتزداد معاملات الانكسار الثلاثة بزيادة إحلال الحديد Fe^{+3} محل الألومنيوم. ويأخذ معدن الإبيدوت ألوان متعددة منها اللون الأخضر والأخضر الباهت والأصفر والأصفر المخضر والأسود المخضر. البريق غالباً لؤلؤى وأحياناً صمغى والمعدن شفاف إلى معتم. الصلادة من ٦ إلى ٧ والإنقسام كامل عند المستوى {001} وغير كامل عند {100} (أشكال ٣-٣ إلى ٦-٣). المكسر غير مستوى والتماسك صلب Brittle tenacity ويتراوح الوزن النوعى المقاس من ٣,٣٨ إلى ٣,٤٩ والمحسوب يتراوح من ٣,٣٩١ إلى ٣,٤٦٤. تبلغ معاملات الانكسار ألفا (α) من ١,٧١٥ إلى ١,٧٥١ و بيتا (β) من ١,٧٢٥ إلى ١,٧٨٤ و جاما (γ) من ١,٧٣٤ إلى ١,٧٩٧ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) من ٠,٠١٥ - ٠,٠٤٩ وتتراوح الزاوية البصرية ($2V$) ما بين ٩٠-١١٦ درجة. ويبين شكل (٣-٧) العلاقة ما بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الإبيدوت كما يظهر فى الشكل أيضاً إتجاه المحورين البصريين OA.

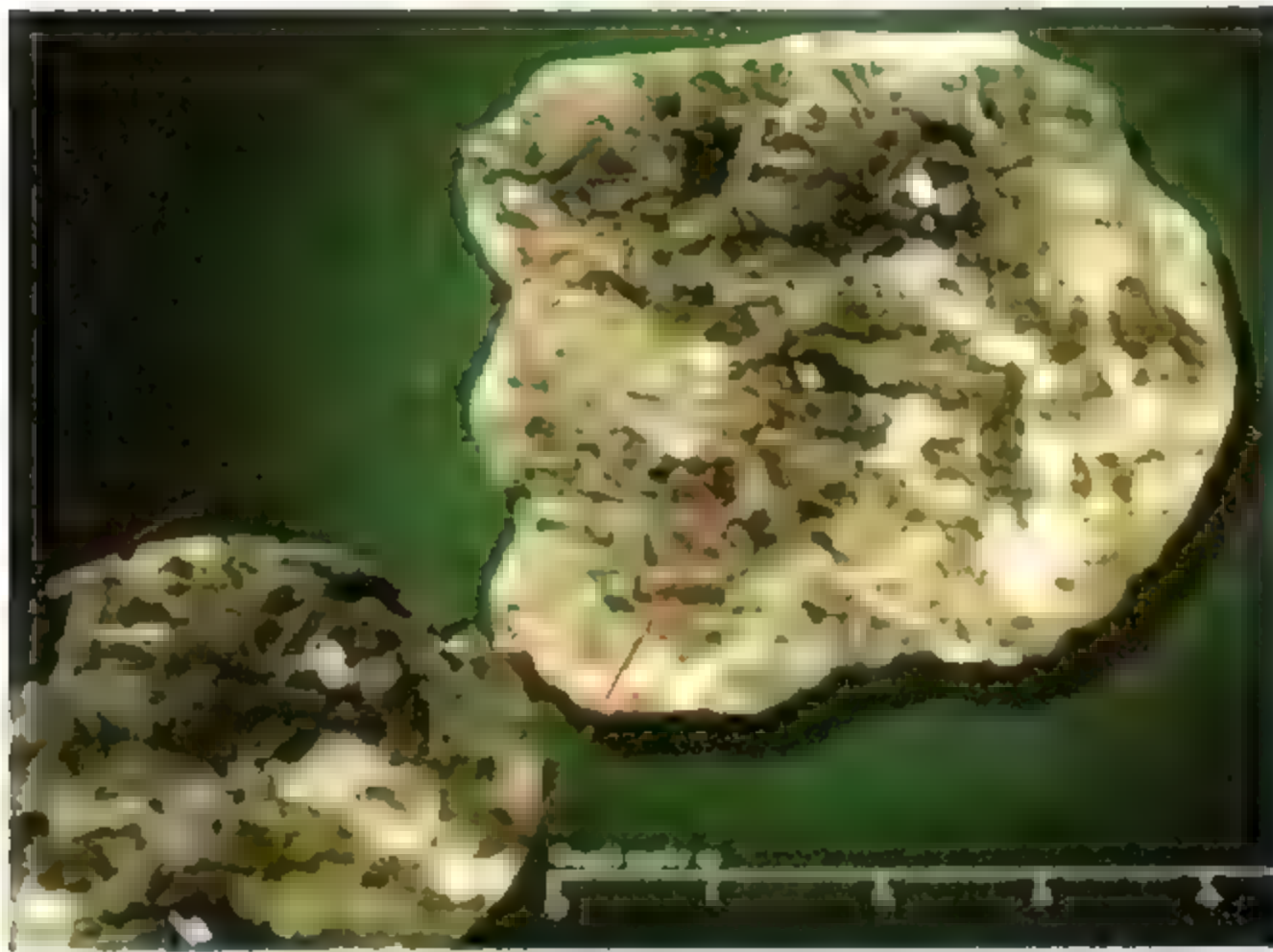
من ناحية أخرى يتميز معدن البيموننتيت باللون الأحمر والأصفر والبنى المحمر والأسود المحمر ومن ناحية الشفافية فالمعدن نصف شفاف والمخدش أحمر. يأخذ المعدن الهيئة الكتلية أو الإبرية والبلورات منشورية (شكل ٣-٨). الصلادة من ٦ إلى ٧ والإنقسام مميز فى الإتجاه {100} وجيد فى الإتجاه {001}. والوزن النوعى يتراوح من ٣,٤٥ إلى ٣,٥٢.



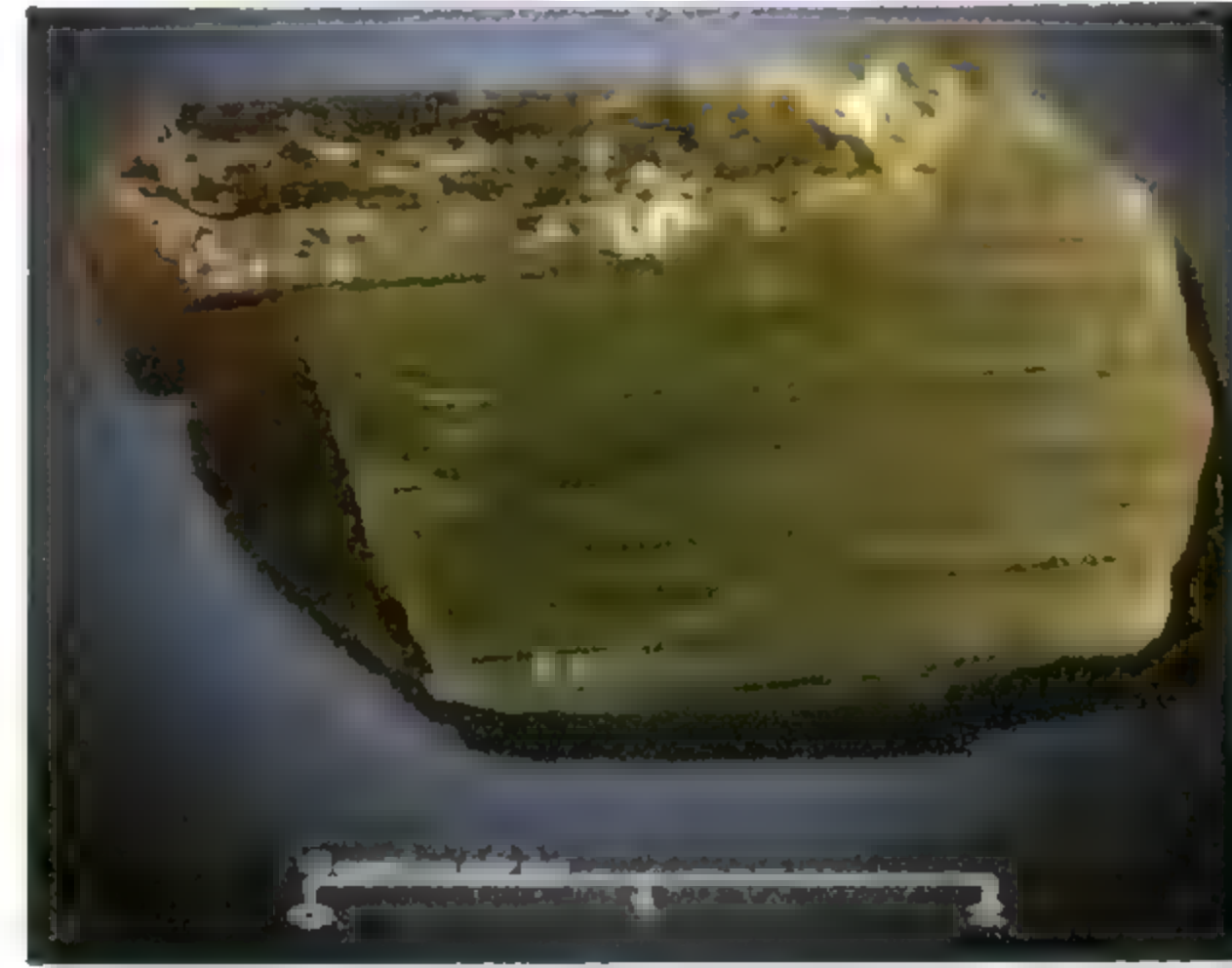
شكل ٣-٤: صورة مأخوذة بالمجهر الماسح لبلورة إبيدوت منشورية الشكل بأبعاد ١٠X٥٠ ميكرومتر (ناجاشيما Nagashima ٢٠٠٦)



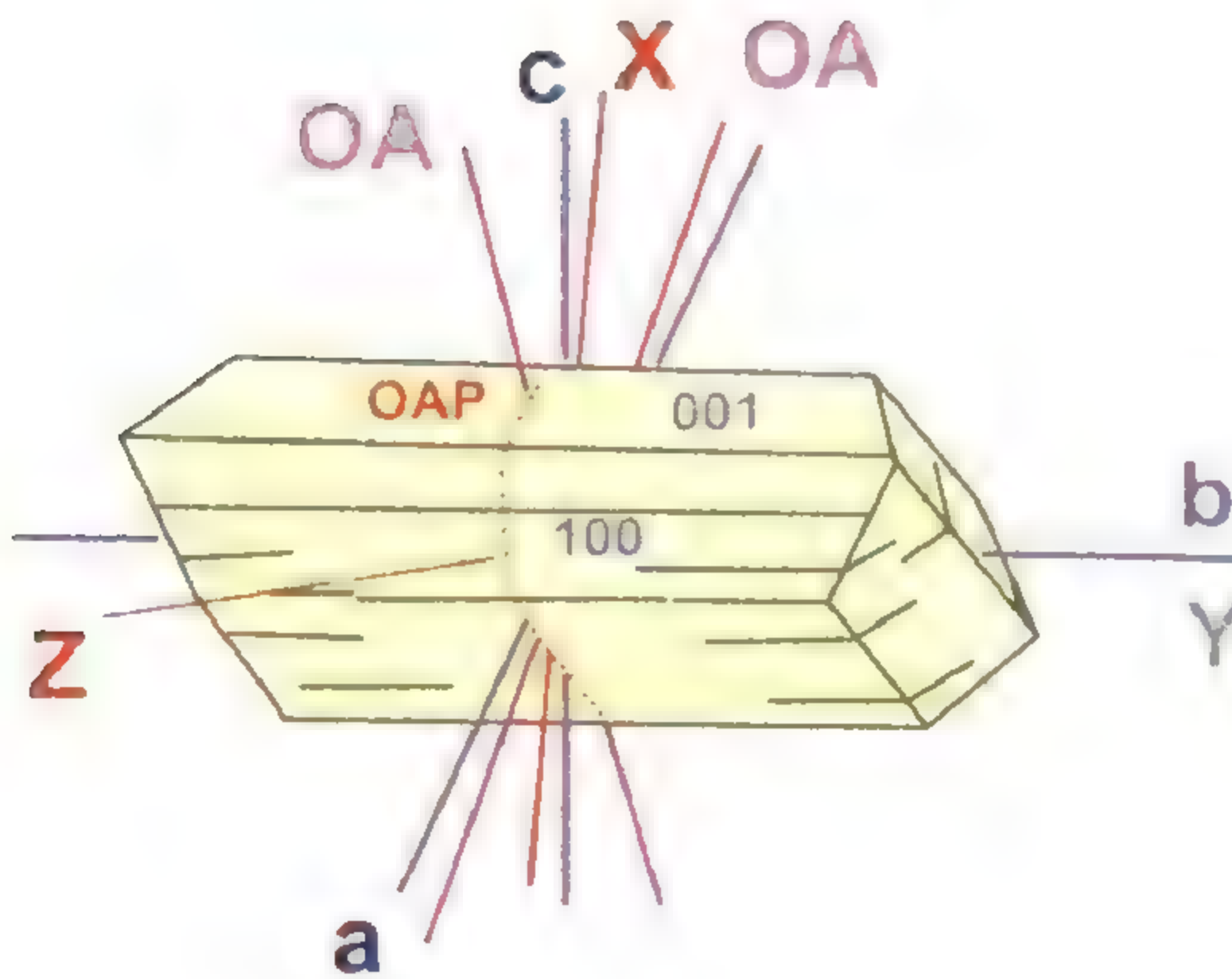
شكل ٣-٣: صورة فوتوغرافية لبلورات منشورية من معدن الإبيدوت، يظهر الإنقسام موازى لإتجاه الإستطالة. كما تظهر بلورات مصاحبة من معدن الكوارتز، ابعاد العينة ٩X٨ سم. الأسكا. Prince of Wales Island, Alaska



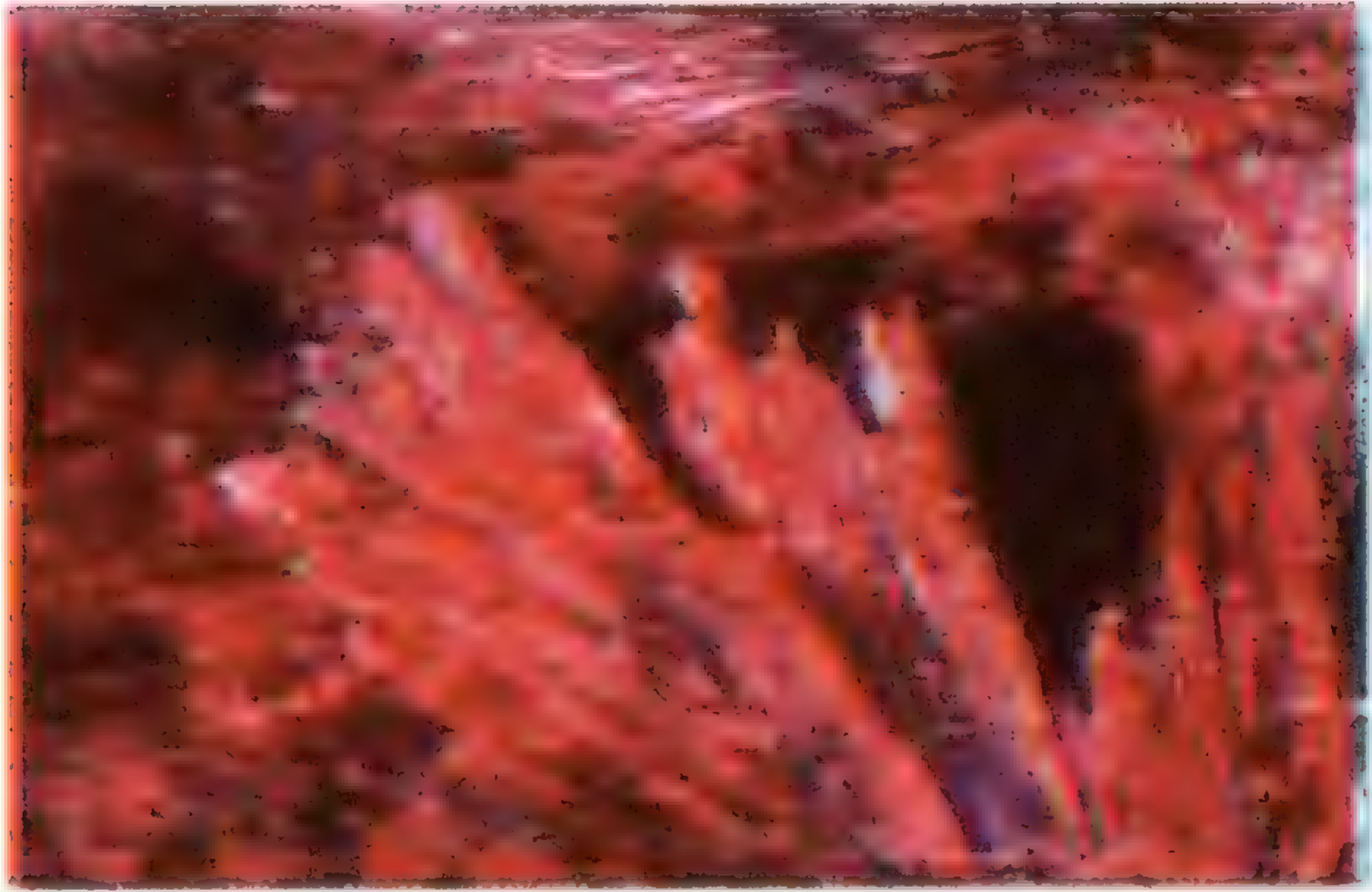
شكل ٣-٦: بلورات منشورية قصيرة من معدن البيستاكيت ذات لون أخضر مميز مترسبة على معدن الأورثوكليز. منطقة ترافيرسيلاتا بإيطاليا Traversella, Piedmont, Italy
<http://www.wildaboutrocks.com/prod2140.htm>



شكل ٣-٥: بلورة واحدة منشورية من معدن الإبيدوت تظهر تخطيط مميز للمعدن Striations. منطقة داكيسان بأذربيجان.
<http://www.wildaboutrocks.com/prod2439.htm>



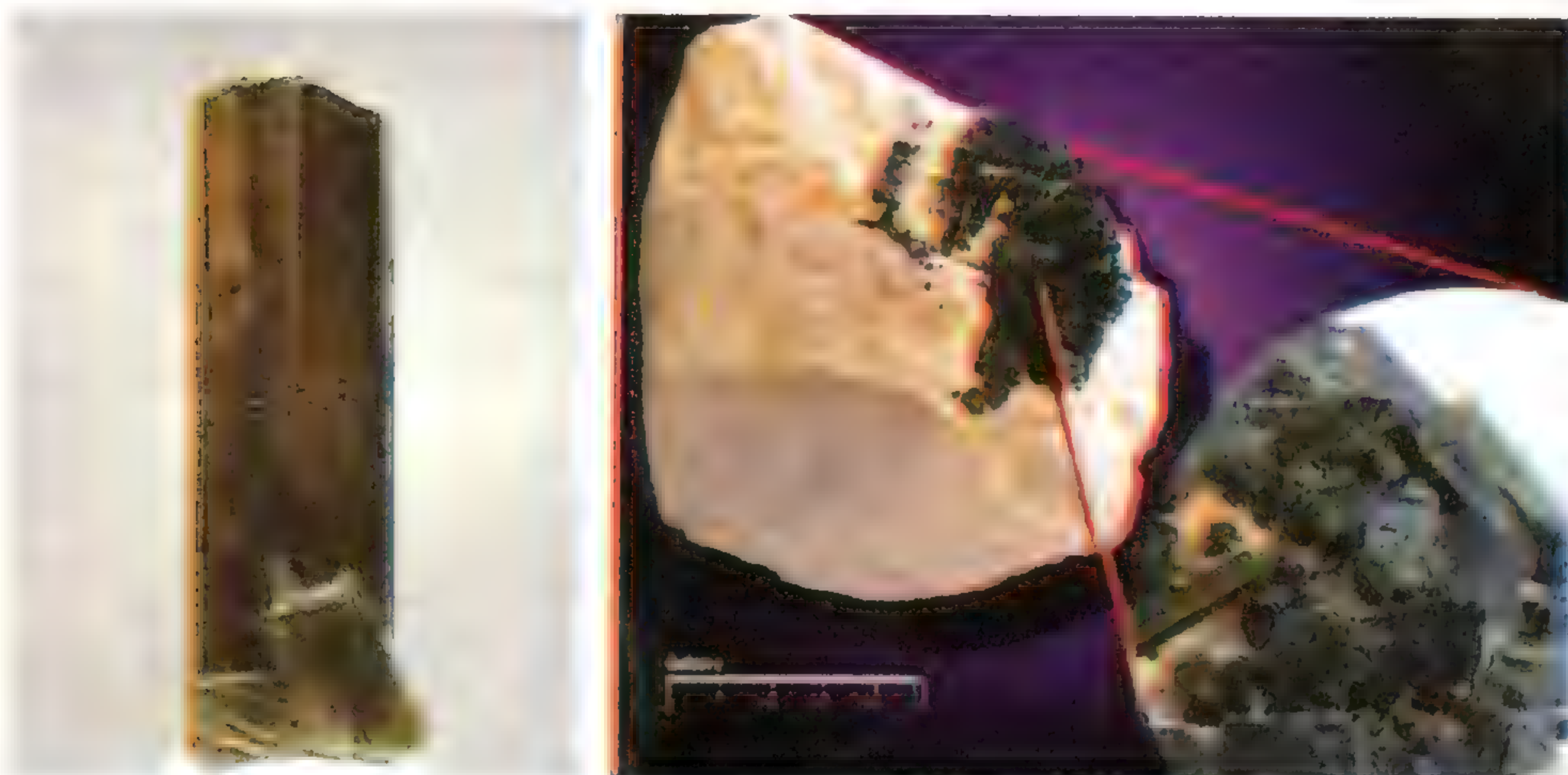
شكل ٣-٧: العلاقة ما بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z فى بلورة لمعدن الإبيدوت كما يظهر فى الشكل إتجاه المحورين البصريين OA .OAP = المستوى المحورى البصري (Optic Axis Plane).



شكل ٣-٨: تجمعات بلورية إبرية حمراء اللون من البيمونتيت منطقة منجم شوانينج
بجنوب أفريقيا. <http://webmineral.com/data/Piemontite.shtml>

يتميز الكلينوزوسيت بأنه عديم اللون أو أصفر فاتح أو أحمر أو رمادي أو أخضر أو بني والمعدن شفاف إلى نصف شفاف. يأخذ المعدن الهيئة الإبرية والبلورات منشورية الشكل (شكل ٣-٩، ٣-١٠). الصلادة تساوي ٦,٥ والانقسام كامل في الاتجاه {001} وجيد في الاتجاه {001}. المكسر غير مستوي ويتراوح الوزن النوعي من ٣,١٢ إلى ٣,٣٨. يلاحظ من هذه البيانات أن هناك تفاوت في الوزن النوعي في المعادن الثلاثة ويرجع سبب هذا التفاوت والذي يتعدى قيمته ٠,١ في الإبيدوت إلى وجود علاقة طردية مابين الوزن النوعي وزيادة تركيز كل من الحديد والمنجنيز وإحلالهما داخل بنية المعدن (شكل ٣-١١). يوضح جدول (٣-٣) المقارنة في الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن الإبيدوت-كلينوزوسيت.

يُظهر التغير في قيم معاملات الانكسار في هذين المعدنين علاقة طردية مع زيادة إحلال الحديد الثلاثي محل الألومنيوم في المدى ما بين ٧ إلى ٣٥ من النسبة الجزيئية $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ (شكل ٣-١١). يتضح من هذا الشكل أن معاملات الانكسار الثلاثة α, β, γ تزيد باستمرار مع زيادة النسبة

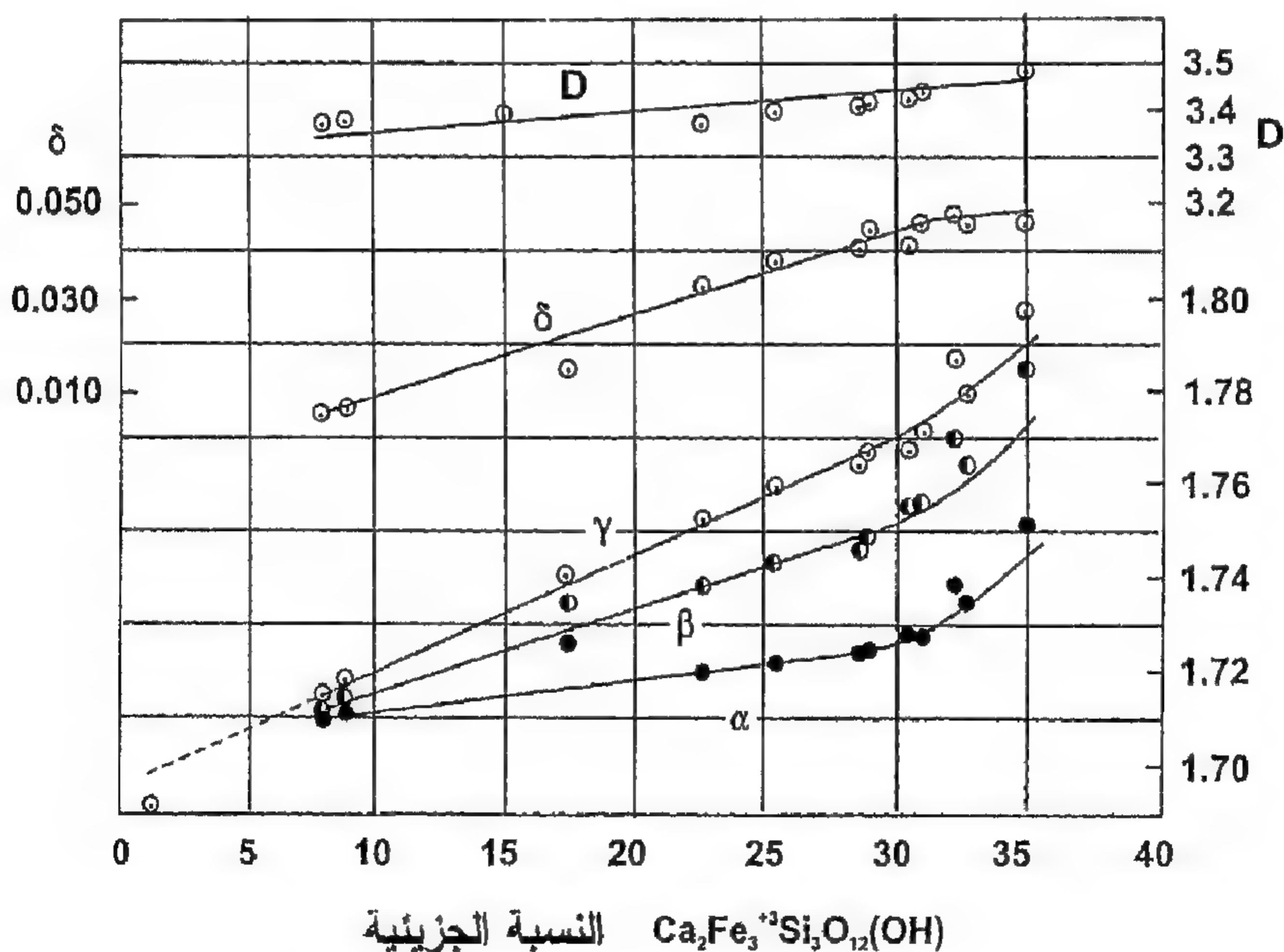


شكل ٣-١٠: بلورة منشورية بنية اللون من الكلينوزوسيت بأبعاد ١,٢×٢,٣×٧ سم من منطقة الشوري بباكستان.

Alchuri, Shigar Skardu district, Pakistan

شكل ٣-٩: بلورات إسطوانية متداخلة ومتجمعة من الكلينوزوسيت على معدن الأرثوكلايز. منطقة جيلجيت بباكستان Gilgit, Pakistan.

<http://www.wildaboutrocks.com/prod1645.htm>



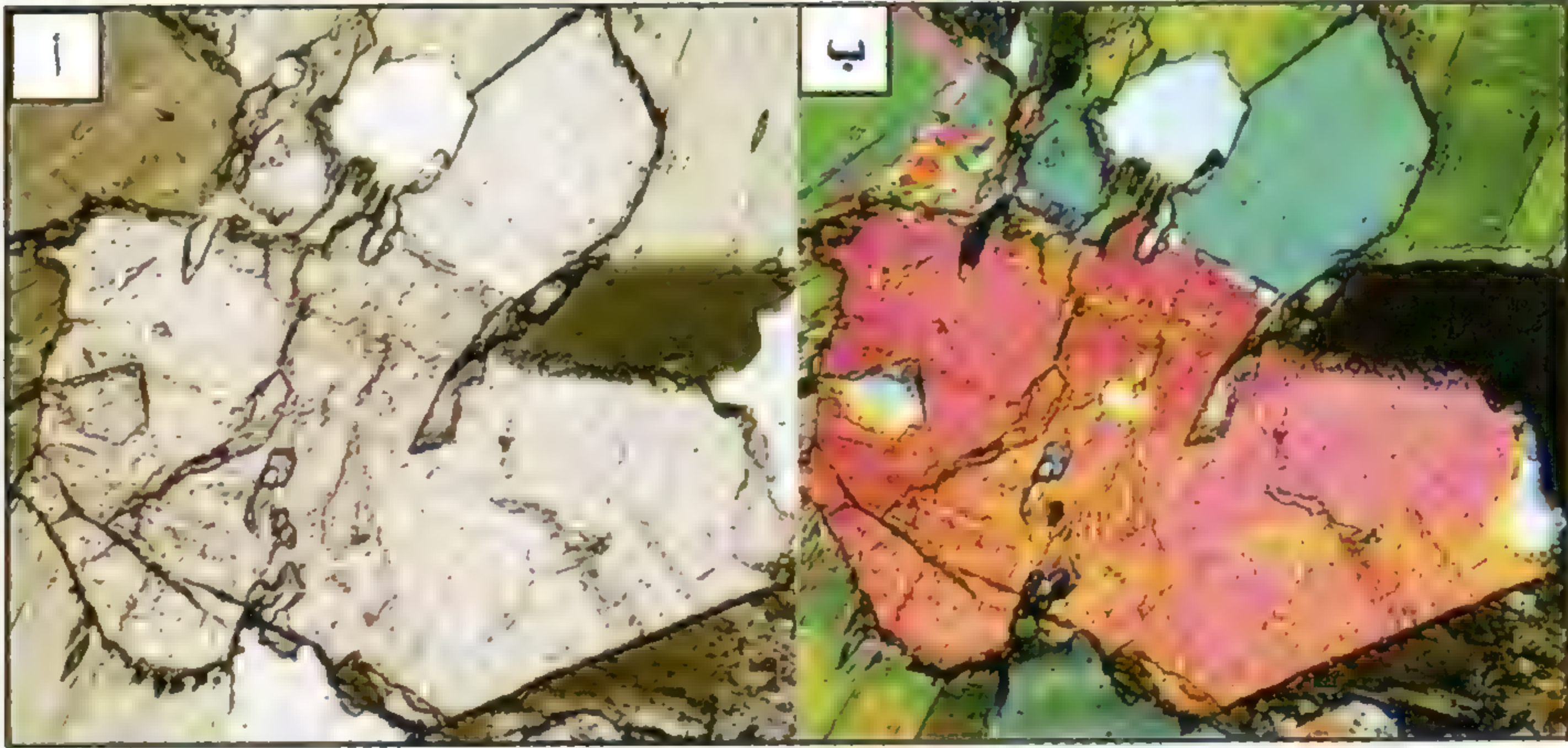
شكل ٣-١١: العلاقات الطردية ما بين النسبة الجزئية (والتي تزيد بزيادة نسبة إحلال الحديد الثلاثي Fe^{+3} محل الألومنيوم) مع كل من قرينة الإنكسار المزدوج δ والكثافة D ومعاملات الإنكسار α, β, γ في معادن الإبيدوت-كلينوزوسيت. (دير وآخرين ١٩٨٩, Deer et al.)

جدول ٣-٣: مقارنة الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن الليمونيت والإبيدوت والكلينوزوسيت. (دير وآخرون ١٩٨٩، Deer et al.).

كلينوزوسيت	إبيدوت	ليمونيت	التركيب الكيميائي
$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}_2$ (SiO_4) (Si_2O_7)O(OH)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}$ (SiO_4) (Si_2O_7)O(OH)	$\text{Ca}_2(\text{Mn}, \text{Fe}^{+3}, \text{Al})_2\text{Al}$ (SiO_4) (Si_2O_7)O(OH)	
الميل الواحد الموجب	الميل الواحد السالب	الميل الواحد الموجب	الفصيلة البلورية
كامل {001}			الانقسام
{100}			التوأمية
عديم اللون إلى أصفر باهت رمادي وأخضر وهو عديم اللون في القطاعات الميكروسكوبية	أخضر أو أصفر رمادي. أخضر ليموني في القطاعات الميكروسكوبية	بنى محمر وأسود وبنفسجي إلى قرمزي في القطاعات الميكروسكوبية	اللون
-----	عديم اللون إلى أصفر باهت إلى أخضر	من الأصفر إلى الأحمر	التغير اللوني
١,٧١٥-١,٦٧	١,٧٥١-١,٧١٥	١,٧٩٤-١,٧٣٢	α
١,٧٢٥-١,٦٧٤	١,٧٨٤-١,٧٢٥	١,٨٠٧-١,٧٥	β
١,٧٣٤-١,٦٩	١,٧٩٧-١,٧٣٤	١,٨٢٩-١,٧٦٢	γ
٠,٠٠٥-٠,٠١٥	٠,٠٤٩-٠,٠١٥	٠,٠٨٨-٠,٠٢٥	قابلة الانكسار المزدوج δ
°٩٠-°١٤	°١١٦-°٩٠	°٨٥-°٦٤	الزاوية البصرية 2V
٣,٣٨-٣,١٢	٣,٤٩-٣,٣٨	٣,٥٢-٣,٤٥	الوزن النوعي
٦,٥	٦	٦	الصلادة H

الجزئية وهذه الزيادة واضحة أيضاً في جدول (٣-٣) حيث يصل مدى معامل الانكسار ألفا (α) في الإبيدوت من ١,٧٣٤ إلى ١,٧٩٧ وهو أعلى من المدى في المعامل المكافئ في الكلينوزوسيت الخالي من الحديد حيث يصل إلى ما بين ١,٦٩-١,٧٣٤. ويلاحظ أيضاً من الجدول (٣-٣) أن إحلال الحديد الثلاثي محل الألومنيوم يكون مصاحباً مع زيادة في الزاوية

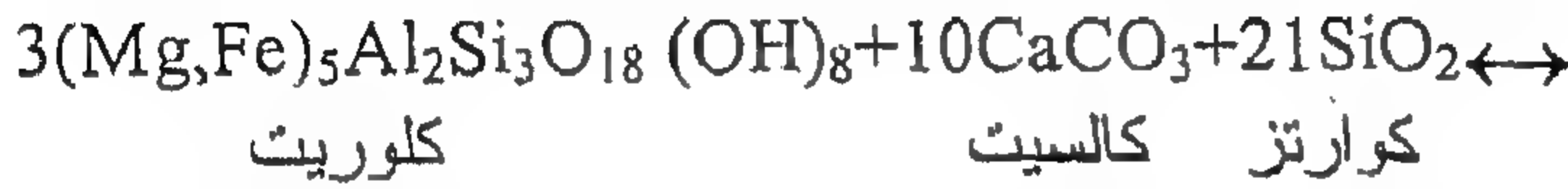
البصرية Optic angle حيث تتراوح فى الكليנוزوسيت فيما بين ١٤-٩٠ درجة وتزداد فى الإبيدوت لتصل إلى المدى من ٩٠-١١٦ درجة وتكون العلامة البصرية فى الإبيدوت سالبة والكليноزوسيت موجبة. اللون والتغير اللونى أيضاً لهما علاقة مع إحلال الحديد الثلاثى \leftrightarrow الألومنيوم والمنجنيز \leftrightarrow الألومنيوم \leftrightarrow Fe^{+3} & $Al \leftrightarrow Mn^{+3}$ ويلاحظ هذا التغير اللونى بالأخص فى البيموننتيت حيث يكون التغير اللونى فى الإتجاه "X" من الأصفر الباهت إلى الأصفر إلى الأصفر الليمونى إلى البرتقالى أو الأحمر وفى الإتجاه "Y" يكون من البنفسجى الفاتح إلى البنفسجى الوردى إلى الأحمر الغامق وفى الإتجاه "Z" يكون من البنفسجى الغامق إلى البنى المحمر إلى الأحمر وإلى الوردى. يظهر التغير اللونى أيضاً فى المعادن التى تحتوى على كميات صغيرة من المنجنيز Mn^{+3} . ومن الملاحظ أيضاً زيادة قرينة الانكسار المزدوج (δ) بزيادة إحلال الحديد الثلاثى محل الألومنيوم مما يؤثر بدوره على ألوان التداخل (شكل ٣-١١). يظهر الكليноزوسيت ألوان تداخل غير عادية بالمقارنة بالإبيدوت والبيموننتيت (شكل ٣-١٢).



شكل ٣-١٢: يوضح قطاع فى بلورة من معدن الإبيدوت فى صخر الجرانوديوريت الكلسقوى. تحت المجهر المستقطب بتكبير ١٠٠ مرة. أ- فى وجود المستقطب فقط: المعدن عديم اللون مع تضاريس عالية والبلورة محاطة ببلورات أخرى من الميكا. ب- فى وجود المستقطب والمحلل: ألوان التداخل من الرتبة الثانية والثالثة حيث تزداد قرينة الانكسار المزدوج بزيادة تواجد الحديد الثلاثى.

التواجدات والصحية المعدنية

تتواجد معادن الإبيدوت أساساً في صخور التحول الإقليمي حيث تنتشر في صخور النيس والشيست بأنواعها المختلفة كما أن تكونها يحدد قمة التغير من سحنات الشيست الأخضر إلى سحنات الإبيدوت-أمفيبوليت. ويمكن تمثيل ذلك في المعادلة

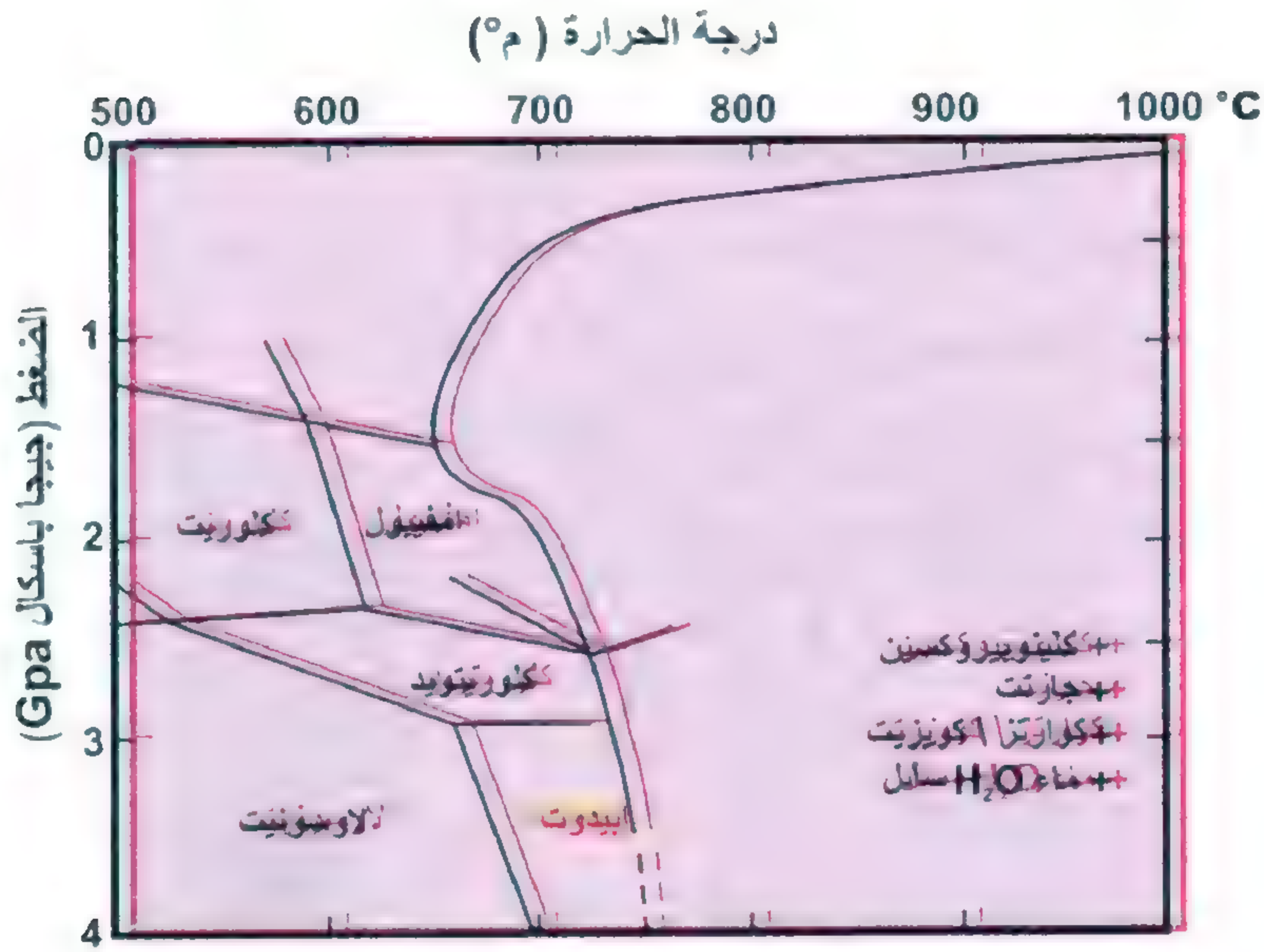


كلينوزوسيت

أكتينوليت

ويتكون الإبيدوت من جراء التفاعلات التراجعية Retrograde readjustments المصاحبة للتحول الديناميكي خاصة في الصخور المافية. وبالرغم من أن تكوين الإبيدوت غالباً ما يكون في مناطق جهد القص Shear stress ودرجات الحرارة المنخفضة ولكنه أيضاً يتبلور في غياب الضغط حيث يتكون أثناء التغيرات بالمحاليل الحرمائية (مجموعة الساسوريت Saussurite) ويعتبر من المعادن الشائعة في نطق التغير Alteration zone على طول الشقوق والفواصل وفي الفجوات المؤثرة في الصخور الحاوية على معادن الكالسيوم والألومنيوم مثل الفلسبارات والبيروكسين والأمفيبول والإسكابوليت والكلوريت والبيوتيت. كما يتواجد الإبيدوت في صخر الحجر الجيري المتبلور حيث يكون أحياناً بمفرده صخر يسمى Epidosite. وفي شيع تكون الكلينوزوسيت في الصخور النارية والرسوبية المتعرضة لتحول إقليمي منخفض إلى متوسط وفي الرواسب الغنية بالكالسيوم والمتعرضة لتحول تماسي Contact metamorphism وكناتج من تغير معادن البلاجيوكليز. يتشابه تكوين اليموننتيت مع تكوين كل من الإبيدوت والكلينوزوسيت ولكنه أقل شيوعاً حيث يتبلور عند درجة من الضغط أقل ويتواجد في الصخور التابعة لسحنة الشيست الأزرق والشيست الأخضر. ويوجد اليموننتيت الغني بالمنجنيز مصاحباً لرواسب المنجنيز ويتكون من التحول السائلي Metasomatism.

يوضح شكل (٣-١٣) أماكن التواجدات النسبية لمعادن الإبيدوت بالإضافة إلى معادن أخرى كالأمفيبول والكلوريت في صهير بازلتى متغاير بدرجة بسيطة من عرف وسط محيطى وذلك بالنسبة لكل من الضغط والحرارة. يتضح من هذا الشكل أن ظروف إستقرار معادن الإبيدوت فى هذا الصهير تقع ما بين ٢,٩ و ٤ جيجا باسكال ودرجة حرارة ما بين ٦٥٠ و ٧٥٠ درجة مئوية تقريباً.



شكل ٣-١٣: يبين الحقول المختلفة لبعض المعادن فى صهير بازلتى من عرف وسط محيطى بناءً على درجة الحرارة والضغط.

Pawley and Holloway 1993, Poli and Schmidt 1994 and Schmidt and Poli 1998.

من جهة أخرى أثبتت دراسات عديدة أن الإبيدوت يكون مستقراً عند ضغط ٢٠٠ ميجا باسكال وتحت تركيز عالى من الأكسجين (ليوى ١٩٧٣ Liou). كما أن الإبيدوت المتكون فى أعماق ضحلة نسبياً تبلغ عدة عشرات من الكيلومترات يكون الضغط السائد أقل من ١٠٠ ميجا باسكال ودرجة الحرارة أقل من ٢٠٠ درجة مئوية. تتكون معادن الإبيدوت عند هذا الضغط المنخفض منفصلة عن بعضها البعض وليست كطور واحد (بيرد وشبيلر

٢٠٠٤ Bird and Spieler). وقد تمكن ناجشيشما (٢٠٠٦) Nagashima لاحقاً من إثبات إمكانية تكون الإبيدوت كطور أو كمعدن واحد Single phase تحت هذا الضغط المنخفض وذلك في حالة تواجد مصادر مناسبة للحديد الثلاثي Fe^{+3} والتي تلعب دوراً هاماً في عدم إعادة تبلور الهيماتيت Fe_2O_3 . وقد وجد ناجشيشما أن الحرارة والضغط وتوافر الأكسجين من العوامل الهامة التي تتحكم في تكوين وتواجد معادن الإبيدوت.

من هذا يتضح أن هناك مدى واسع من الضغط والحرارة مناسباً لتكوين معادن مجموعة الإبيدوت مما أدى إلى تواجد هذه المعادن في العديد من الظروف الجيولوجية ومصاحبة لمجموعات كثيرة ومتنوعة من المعادن، مثل معادن الزيوليت Zeolites والجارنت والأمفيبول والبيروكسين والكلوريت والكوارتز والألبيت والميكا ومعادن أخرى. ومعادن مجموعة الإبيدوت شائعة الانتشار فمن أماكن تواجد معدن الإبيدوت منطقة أندراو بالنرويج وبورج دي أوسيان بفرنسا وريهوبوث بناميبيا وبيدمونت بإيطاليا وجارنت هيلس بكاليفورنيا وبامليكو بنيفادا بأمريكا ومن أماكن تواجد البيموننت منجم برابونا بمنطقة بيدمونت بإيطاليا وتاتشاجالت بالمغرب وبوولكوماتا بجنوب استراليا وفي بحيرة جارنت ومنجم أجنيو ميداو بكاليفورنيا وجبال توسكان بأريزونا بأمريكا ومن أماكن تواجد الكلينوزوسيت جوسلارواند بتيروول بالنمسا وأندراو بالنرويج وسيتامبوندي بمدراس بالهند وبيلفيري وفيرمونت بالولايات المتحدة الأمريكية وتيمينس بأونتاريو بكندا.

الاستخدامات

بالإضافة لإستخدام بلورات الإبيدوت خاصة البيستايت كحجر للزينة، يستخدم الكلينوزوسيت كمادة مثبتة لثاني أكسيد الكربون في عمليات تكرير البترول ويستخدم أيضاً في تحسين صناعة النسيج كما تستخدم بعض أنواعه كحجر للزينة من خلال قطع بلوراته الملونه بألوان خضراء أو صفراء في اتجاهات معينة. تفاصيل استخدامات هذه المعادن متاح على الموقع الإلكتروني:

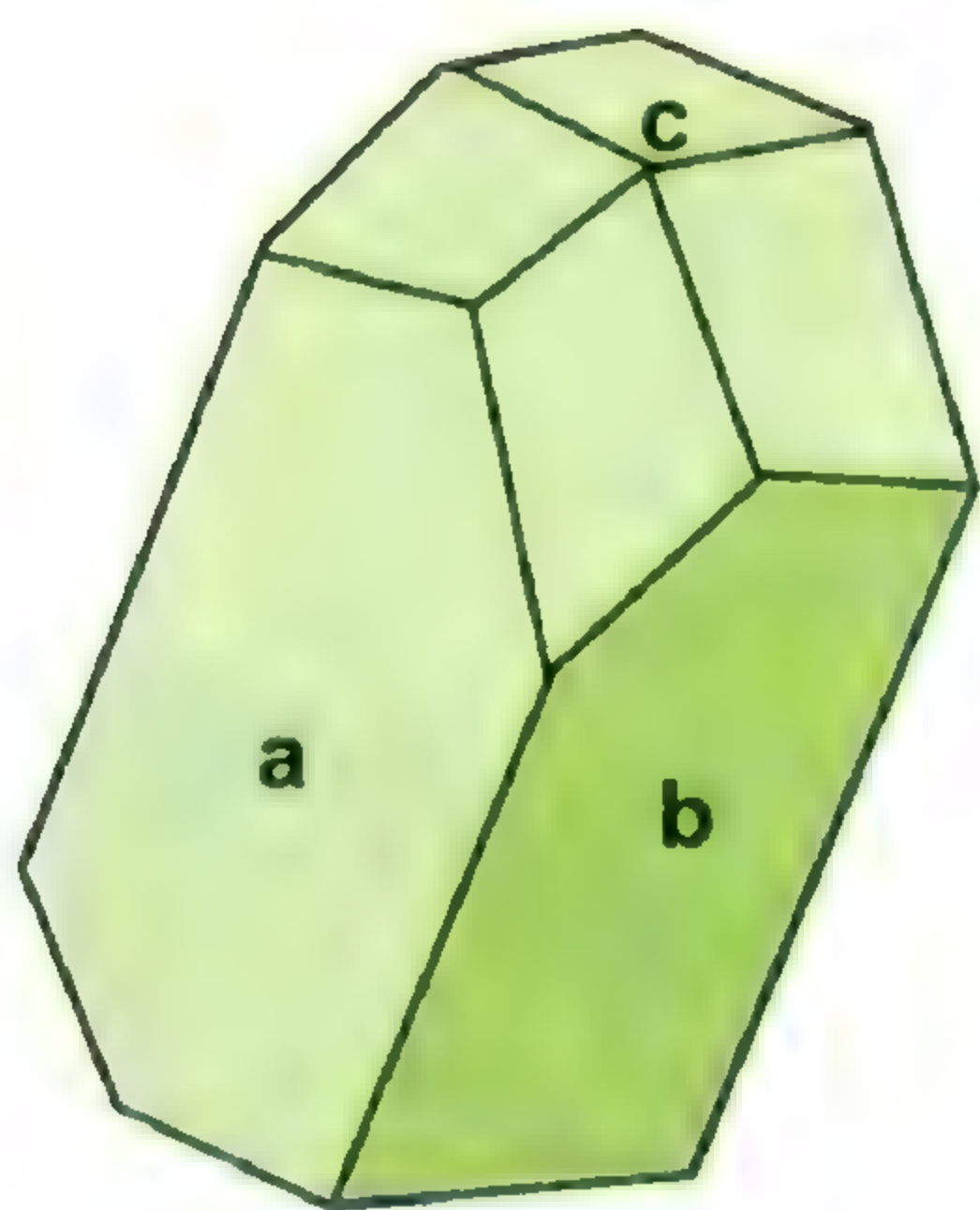
http://www.delminsociety.net/motm/motm_dec2005.htm

الزوسيت Zoisite



قديماً كان يطلق على المعدن اسم ساوالبيت Saualpite حيث تم إكتشافه للمرة الأولى عام ١٨٠٥ في جبال ساو-ألب بالنمسا Sau-Alp Mountains of Austria ثم سمي المعدن زوسيت تخليداً لأحد جامعي المعادن النمساوي الجنسية وهو فون زويس Von Zois (١٧٤٧-١٨١٩). ومن أشهر أنواع الزوسيت النوع المسمى تنزانيت Tanzanite والذي أكتشف في تنزانيا عام ١٩٦٧ ويستخدم كحجر كريم.

البنية البلورية



شكل ٣-١٤: بلورة معيني قائم لمعدن الزوسيت

يتبلور الزوسيت في فصيلة المعيني القائم ومجموعة النقطة $2/m \ 2/m \ 2/m$ والمجموعة الفراغية $Pnma$. يمكن اعتبار الزوسيت وكأنه بلورة للإبيدوت بها توأمية حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة في معدن الزوسيت: $b=0.45$ ، $c=1.13$ أنجستروم وهي تساوي تقريباً أبعاد خلية الوحدة لمعدن الإبيدوت في هذين البعدين ($b=0.6$ ، $c=1.2$ أنجستروم) ويبلغ البعد "a" ١٦,١٩ أنجستروم والذي يساوي $2a \sin \beta$ لمعدن الإبيدوت. هذه العلاقة

الرياضية نجدها أيضاً في ما بين معادن البيروكسين المعيني والمائل والأمفيبول المعيني والمائل. والزوسيت له نفس التركيب الكيميائي للكلينوزوسيت ولكنه يتبلور عند درجة حرارة أعلى ويأخذ شكل بلوري مختلف لذلك فهو متعدد شكلي له Diamorph. مقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z)=4$. البلورات تأخذ شكل عمداني أو منشوري (شكل ٣-١٤).

كيمائية المعدن

هناك إختلاف طفيف فى التركيب الكيمائى ما بين الزوسيت والإبيدوت، ويرجع هذا الإختلاف إلى زيادة نسبة الحديد فى الإبيدوت. أظهرت العديد من الدراسات أنه يمكن فهم جيوكيمائية وسلوك العناصر الشحيحة Trace elements فى الصخور المتكونة تحت ضغط عالى من خلال معرفة تأثير التركيب الكيمائى لمعادن الإبيدوت ومن بينها الزوسيت. كما ساعد

جدول ٣-٤: التحليل الكيمائى للزوسيت.

الأكسيد	١	٢	٣
SiO ₂	٣٩,١٦	٣٩,٥٥	٣٨,٣٥
TiO ₂	٠,١٠١	—	٠,٠٢
Al ₂ O ₃	٣٣,٥	٣٣,٣٩	٢٧,١٨
Fe ₂ O ₃	١,٧٥	٠,٠٤	٨,٦٧ {
FeO	٠,٣٣—	١,٧٧	
Cr ₂ O ₃	٠,٠١٤	—	٠,١
MnO	—	—	٠,٣
MgO	—	٠,٠٧	٠,٢
CaO	٢٥,٠٢	٢٤,٤٤	٢٣,٢٨
SrO	—	٠,٠٥	—
V ₂ O ₃	٠,٥٧	٠,٢٠	—
H ₂ O ⁺	٠,٠٦	٢,٠٠	لم تحلل
H ₂ O ⁻	—	—	لم تحلل
المجموع	١٠٠,٤	٩٩,٧٤	٩٧,٥٠

تحليل ١: زوسيت من أمفيبوليت، تاجانيقا (جام ١٩٥٤ Game)

تحليل ٢: زوسيت من وادى أومبا بتنزانيا (٢٠٠١)

<http://www.minsocam.org/msa/handbook>

تحليل ٣: زوسيت من جابرو متحول mctagabbro منطقة سندرا

شمال غرب الهند (باندت وآخرين ٢٠٠٣ Pandit et al.).

التقدم فى استخدام التحاليل الدقيقة كاستخدام المسبار الإلكتروني فى إيضاح دور معادن الإبيدوت فى الكشف عن معلومات إضافية عن البيئات الجيولوجية التى تكونت فيها. ويبين الجدول (٣-٤) بعض التحاليل الكيميائية لمعدن الزوسيت. نلاحظ من التحاليل المعروضة بالجدول (تحليل ١ و ٢) انخفاض نسب الأكاسيد كأكسيد الحديد الثلاثي والمنجنيز والماغنسيوم مما يعكس عدم شيوع الإحلال الذرى لهذه العناصر محل عنصرى الألومنيوم والكالسيوم. لكن باندت وآخرين (٢٠٠٣) Pandit et al. سجلوا نسب لأكاسيد الحديد ($Fe^{3+}+Fe^{2+}$) فى الزوسيت وصلت إلى ٨,٦٧% وذلك فى صخور مافية تركيبها الأساسى جابرو متحول من شمال غرب الهند حيث بلغت نسبة $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ من ٠,١٤ - ٠,١٧ وقد أطلق عليه زوسيت حديدى Ferrian zoisite. وتوجد أنواع من الزوسيت تحتوى على المنجنيز مثل الثيوليت Thuolite والذى يسمى أحياناً روزالين Rosaline ونجد فى هذا النوع أن إحلال المنجنيز للكالسيوم لايتجاوز ٢% (دير وآخرين ١٩٨٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون رمادى أو أخضر أو بنى أو بنفسجى أو أبيض والبريق زجاجى والمخدش أبيض. تبلغ صلادة المعدن ٦ والإنقسام كامل عند المستوى {100} وغير كامل عند المستوى {001} والتوأمية غير متواجدة. المكسر محاري أو غير مستوى ويتراوح الوزن النوعى ما بين ٣,١٥ إلى ٣,٢٧. الأشكال الشائعة هي العمدانية والمنشورية (شكل ٣-١٥). يمكن تمييز الزوسيت عن الكلينوزوسيت بالإنطفاء الموازى. تبلغ قيم معاملات الانكسار للمعدن كالتالى ألفا (α) = ١,٦٨٥ - ١,٧٠٥ وبيتا



شكل ٣-١٥: بلورة لمعدن الزوسيت من منجم ميريلانى بتزانيا Merelani mines, Arusha, Tanzania

(β) = ١,٦٨٨ - ١,٧١٠ وجاما (γ) = ١,٦٩٧ - ١,٧٢٥. على عكس التركيب الكيميائي الذي لا يظهر إختلافات كبيرة ما بين الزوسيت والإبيدوت، فإن الصفات البصرية تظهر تغييرات أكثر وضوحاً فيما بين المعدنين حيث يظهر الزوسيت أقل في قرينة الانكسار المزدوج والتي تساوى ٠,٠٠٤ - ٠,٠٠٨، كما أن الزوسيت عديم اللون في القطاعات الرقيقة وبلوراته موجبه حيث تتراوح الزاوية البصرية ($2V$) ما بين ٠ - ٦٠°. الثيوليت من الأنواع الملونة لمعدن الزوسيت ويتميز بلونه الأحمر (شكل ٣-١٦).



شكل ٣-١٦: كتل غير منتظمة حمراء اللون من معدن الثيوليت Thullite منغمسة في أرضية من الفلسبار الأبيض. تظهر بعض هذه الكتل أوجه مستوية. البريق الزجاجي واللون الأحمر أهم ما يميز الثيوليت في هذه العينة. من منطقة هيدمارك بالنرويج Elverum, Hedmark, Norway. http://www.wildaboutrocks.com/category33_1.htm.

التواجدات والصحبة المعدنية

الزوسيت من المكونات الأساسية للصخور المتحولة إقليمياً بدرجة متوسطة Medium grade regional metamorphism وغالباً ما يكون الصخر الأولى ذا تركيب من المارل Marl ويتواجد الزوسيت في

صخور الشيست وثنوياً في الجرانوليت مصاحباً للجارنت والبلاجيوكليز والبيوتيت والهورنبلند. ويتواجد المعدن أيضاً مع التحول الحراري للحجر الجيري غير النقي ويتواجد ثنائياً في الإكلوجيت الحامل للهورنبلند. الزوسيت هو ناتج شائع من نتواتج التغير بالمحاليل المائية الحارة للبلاجيوكليز الصودي Saussuritization مع معادن أخرى مثل البلاجيوكليز الصودي والسيريسيت والكالسيت. وبوجه عام يعتبر الكالسيت والبيوتيت والهورنبلند والكوراندم والكوارتز والأندرايت جارنت Andradite garnet بالإضافة إلى معادن متحولة أخرى هي أهم المعادن التي توجد مصاحبة للزوسيت. من ناحية أخرى فقد وجد معدن التزانيت في عروق البيجماتيت بميرلياني هيلز بتزانيا وقد دلت تحاليل المكتنفات المصاحبة له على احتواء المحاليل المكونة للمعدن على هيدروكربون. من أهم أماكن تواجد الزوسيت داك تاون بتنيسي بأمريكا وتروندهيم بالنرويج وكويك بكندا وتانجا وميرلياني هيلز بتزانيا وأماكن أخرى في كل من الهند وسويسرا والنمسا.

الاستخدامات

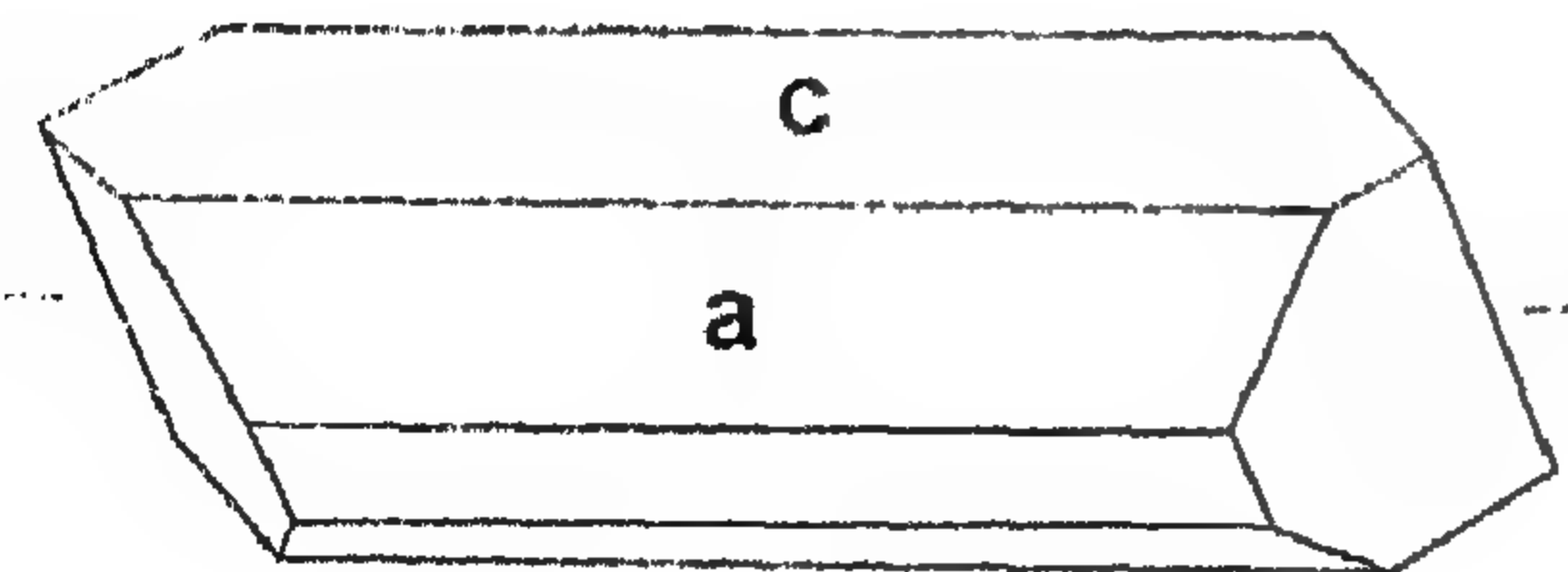
أستخدم الزوسيت منذ عام ١٩٦٧ كحجر كريم حيث أكتشف نوعيه من هذا المعدن في تنزانيا لها ألوان زرقاء براقه سميت تنزانيت Tanzanite. كما توجد نوعيه أخرى تسمى أنيوليت Anyolite ذات ألوان خضراء مميزة تستخدم في صناعة المجوهرات وللإطلاع على مزيد من المعلومات عن إستخدام الأنوليت يمكن مراجعة الموقع الخاص بذلك وهو: www.jegem.com/1/singleProduct.aspx?SKU=AJR206890&r=redirected_from_AS وتستخدم النوعية الغنية بالمنجنيز وتسمى ثيوليت Thulite وهي ذات لون برتقالي أو أحمر كحجر للزينة Ornamental stone وكمادة خام في أعمال النحت والتشكيل Carving material.

الآلانييت Allanite



سمى المعدن بهذا الاسم تخليداً للعالم الأسكتلندي توماس ألان Thomas Allan (١٧٧٧-١٨٣٣). وأحياناً يطلق علي المعدن اسم أورثيث Orthite بناءً على الشكل المنشوري الطويل لبلورات المعدن. الآلانييت من معادن مجموعة الإبيدوت يتميز بإحتوائه على العناصر الأرضية النادرة من النوع الخفيف LREE مثل السيريوم Ce واللانثانم La والنيوديميوم Nd بالإضافة لإحتوائه على الثوريوم Th (إكسيلي ١٩٨٠ Exeley، بروكس وآخرين Brooks et al. ١٩٨١). ويعتبر الآلانييت معدن إضافي هام في الصخور الجرانيتية حيث يؤثر تأثيراً هاماً على التركيب الكيميائي لها (ساكوا وآخرين Sakwa et al. ١٩٨٤). ويوجد المعدن أيضاً في الصخور المتحولة فقد سجل تريبيزيو وآخرون (Tribuzio et al. ١٩٩٦) أن ٦٠% من العناصر الأرضية الخفيفة LREE في صخر الإيكولوجيت موجودة في الآلانييت. معدن الآلانييت هو المعدن الوحيد في مجموعة الإبيدوت الذي يتواجد فيه Fe^{+2} كمكون أساسي. حيث يحل أيون الحديد الثنائي محل الألومنيوم ولكي يتم الإتزان يحل أيون السيريوم الثلاثي محل الكالسيوم الثنائي كما يمكن أن يقوم كل من اللانثانم والإيتريوم بدور السيريوم في هذا الإحلال.

البنية البلورية



شكل ٣-١٧: الشكل البلوري للآلانييت

يتبلور المعدن في
فصيلة الميل الواحد
مجموعة النقطة 2/m
والمجموعة الفراغية
 $P2_1/m$. وتأخذ البنية
البلورية نفس شكل بنية
الإبيدوت (انظر شكل ٣-٣)

(٢) مع الأخذ في الاعتبار أن بعض أماكن الألومنيوم تشغل بواسطة الحديد وأن بعض أماكن الكالسيوم تشغل بواسطة العناصر الأرضية النادرة الخفيفة LREE. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة في الألائيت $A = 8.93$ ، $B = 5.77$ ، $C = 10.16$ أنجستروم وهي أكبر قليلاً من مثيلتها في سلسلة الإبيدوت-كلينوزوسيت. وتبلغ زاوية " β " حوالي 114.69 درجة وتمتلك خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 2$ وتأخذ البلورات غالباً أشكال منشورية أو إبرية. التوأمية موجودة في الإتجاه $\{100\}$ ولكنها غير شائعة كما أنها نادرة النمو في الإتجاه $\{001\}$. ويمثل شكل (٣-١٧) نموذج لبلورة منشورية للألائيت.

كيمائية المعدن

يوجد ثلاث أنواع رئيسية من الألائيت إعتماًداً على نوع العنصر الأرضي النادر الموجود في المعدن وهذه الأنواع هي سيريوم-ألائيت Ce-allanite $(Ce, Ca, Y)_2(Al, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ولانثانم-ألائيت La-allanite $Ca(La, Ce, Ca)Al_2(Fe^{+2}, Fe^{+3})(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ وإيتريوم-ألائيت Y-allanite $(Y, Ce, Ca)_2(Al, Fe^{+++})_3(SiO_4)(Si_2O_7)O(OH)$ ويبين الجدول (٣-٥) التركيب الكيميائي لهذه الأنواع الثلاثة.

بالإضافة إلى المنجنيز والماغنسيوم المسجلة قيمهما في هذا الجدول، يمكن أيضاً تواجد الصوديوم والبيريليوم في الألائيت. يتفاعل معدن الألائيت مع حمض الهيدروكلوريك ويتحول إلى صورة جيلاينية. تتواجد بعض العناصر المشعة في معدن الألائيت وتتراوح نسبتها عادة ما بين ٠,٣٥ إلى ٢,٢٣% من أكسيد الثوريوم ThO_2 ومن ٣٠ إلى ٦٥٠ جزء من المليون من اليورانيوم. تؤدي هذه العناصر غالباً إلى تواجد الألائيت في حالة تفكك لبنائه الذري نتيجة لفعل جسيمات ألفا α -Particles والتي تنبعث أثناء التحلل الإشعاعي Radioactive decay. وتمتلك جسيمات ألفا حين إنبعائها الكم الكافي من الطاقة والكتلة اللازمة لكسر الروابط الكيميائية وإزاحة الذرات المجاورة مسافات تقدر بعشرات من الميكرون وباستمرار التحلل الإشعاعي وخروج

جدول ٣-٥: التحليل الكيميائي للأنواع المختلفة للأنيت

٣. إيتريوم-الأنيت Y-allanite	٢. لانتانم-الأنيت La-allanite	١. سيريوم-الأنيت Ce-allanite	الأكسيد
٣٠,١١	٣٠,٢٢	٢٩,٧٩	SiO ₂
--	--	١,٠٢	TiO ₂
١٩,١٦	١٢,٨٢	١٢,٧٥	Al ₂ O ₃
١٦,٤٥	٦,٨٨	١٢,٨	Ce ₂ O ₃
٢٢,٦٣	--	١,٠٤	Y ₂ O ₃
--	٢٠,٤٨	٧,٢	La ₂ O ₃
--	--	٤,٧٨	RE ₂ O ₃
١٠,٠٠	٦,٦٩	١٠,٦٤	Fe ₂ O ₃
--	٩,٠٣	٩,٠٢	FeO
--	٢,٩٧	١,٨٥	MnO
--	--	١,٦٤	MgO
٢,٨١	٩,٤	١٠,١٠	CaO
١,٥ {	١,٥١ {	١,٦٤	H ₂ O ⁺
		١,١٠	H ₂ O ⁻
١٠٢,٦٧	١٠٠	١٠٠,٣٧	المجموع

تحليل ١. سيريوم الأنيت من منطقة لانجوى بريدج بزامبيا (2001) Luangwe Bridge area, RE₂O₃ = Pr₂O₃ 1.0%, Nd₂O₃ 3.10%, Sm₂O₃ 0.60%, Gd₂O₃ 0.06%, Zambia Er₂O₃ 0.02%.
<http://www.minsocam.org/msa/handbook>

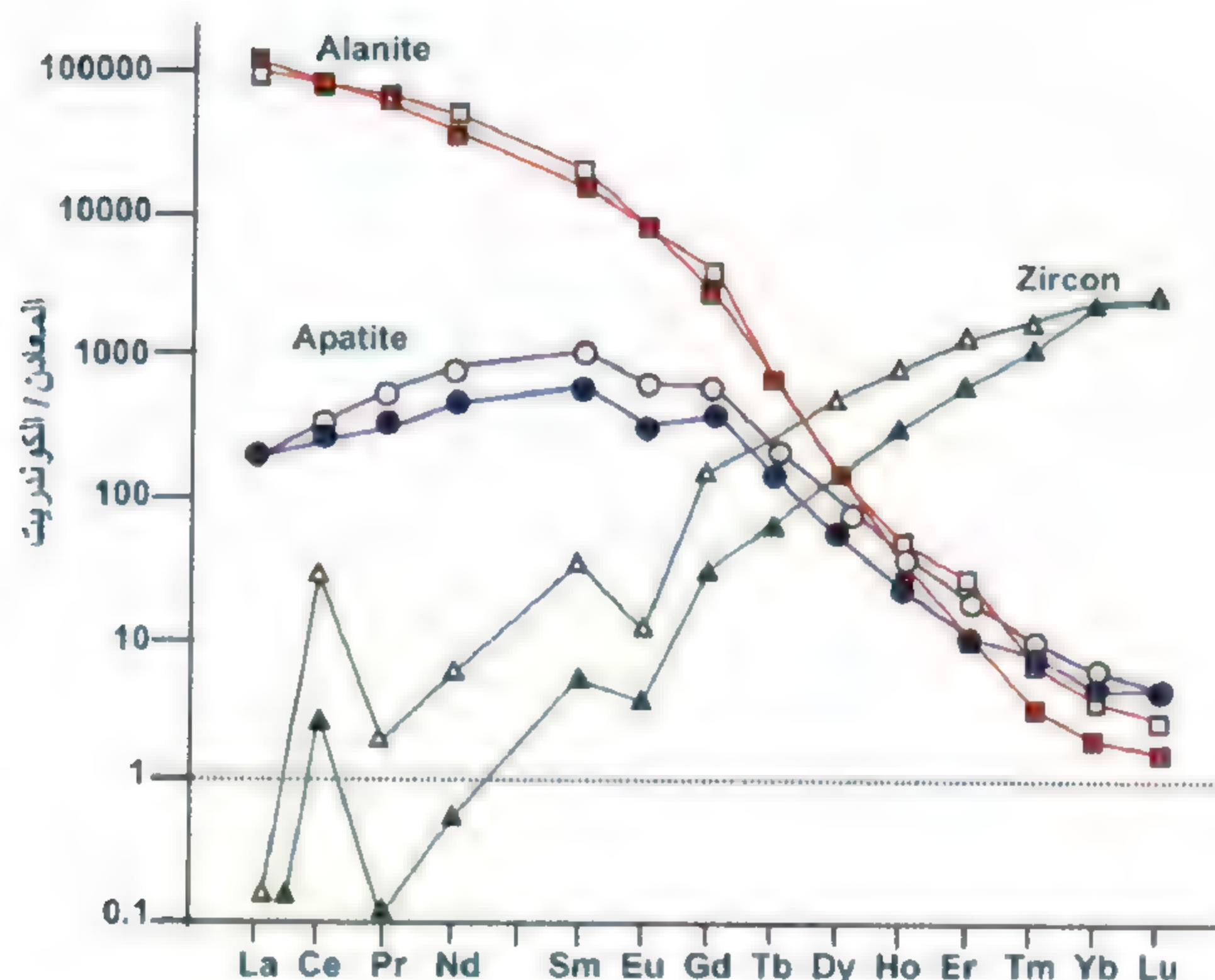
تحليل ٢. لانتانم الأنيت من منطقة منجم بوكا ديلا، ستازيما، إيطاليا (2003) Bucadella Vena Mine, Stazzema, Italy
[http://webmineral.com/data/Allanite-\(La\).shtml](http://webmineral.com/data/Allanite-(La).shtml)

تحليل ٣. إيتريوم الأنيت من محجر للرخام شمال غرب هايلاند، إسكتلندا (2003).
[http://webmineral.com/data/Allanite-\(Y\).shtml](http://webmineral.com/data/Allanite-(Y).shtml)

جسيمات ألفا يتحول المعدن بالتدريج إلى حالة غير متبلورة ويسير الضوء فيه كمادة أيزوتروبية. تتناسب درجة هذا الإنهيار فى البناء الذرى طردياً مع تركيز العنصر المشع ومدى إنتشاره وزمن تواجده بالمعدن وعكسياً مع

الثبات الكيميائي وقوة الروابط والترصيص المغلق في بنية المعدن Closed packing.

تتميز كيميائية المعدن إلى حد كبير بوجود العناصر الأرضية النادرة وبخاصة النوع الخفيف منها LREE. تتواجد هذه العناصر عموماً في الألائيت من خلال إحلالها محل الكالسيوم والثوريوم $Ca^{2+} + Th^{4+} \leftrightarrow 2REE^{3+}$ ويبين شكل (٣-١٨) تركيزات العناصر الأرضية النادرة بالنسبة للكوندرت في كل من الألائيت والأباتيت والزركون المفصولين من صخر الفنجيت إكلوجيت Phengite eclogite من منطقة دورا ماريا غرب جبال الألب. يلاحظ من الشكل أن تركيزات العناصر الأرضية النادرة الخفيفة LREE في الألائيت هي أكبر من مثيلتها في الأباتيت بينما يتميز الزركون بوجود العناصر الأرضية الثقيلة.



شكل ٣-١٨: تركيزات العناصر الأرضية النادرة بالنسبة للكوندرت في كل من الألائيت والأباتيت والزركون المفصولة من صخر الفنجيت إكلوجيت من دورا ماريا في غرب الألب. (هيرمان ٢٠٠٢ Hermann) Dora-Maira massif, Western Alps.

تلعب المعادن الإضافية دوراً هاماً أثناء إندساس القشرة في نطاق الوشاح العلوي حيث وجد هيرمان (٢٠٠٢) Hermann أن ٩٥% من التيتانيوم والنيوبيوم والتنتالم تتواجد في الروتيل وأكثر من ٩٥% من الزركونيوم

والهافنيوم تتواجد في الزركون وأكثر من ٩٠% من الثوريوم والعناصر الأرضية النادرة الخفيفة LREE تتواجد في الألائيت ويتواجد معظم اليورانيوم في الألائيت والزركون بينما يحتفظ الأباتيت بمعظم الفوسفور وقد وجد هيرمان بالتجربة أن الألائيت يتكون كصنف متبقى Residual phase في نطاق الإندساس لذلك فهو يتحكم في توزيع كل من الثوريوم والعناصر النادرة الأرضية الخفيفة LREE في السوائل الموجودة في هذا النطاق. بالرغم من أن الألائيت يكون مستقراً في درجات الحرارة العالية بالمقارنة بالفنجيت واللاوسونيت، إلا أنه يلعب دوراً هاماً في إنتشار هذه العناصر في الوشاح بواسطة القشرة المندسة Subducted Crust .

تحدث المحاليل المائية الحارة غالباً تغير Alteration في معدن الألائيت. يؤدي هذا التغير إلى تآكل المعدن وعمل إحلال له. فقد أظهرت بلورات الألائيت التي تعرضت إلى تغير بسيط حواف غنية بالثوريوم وذلك لأنه لا يذوب بسهولة بينما تضاءلت نسبة كل من اللانثانم والسيريوم في هذه الحواف. وبزيادة درجة التغير يزداد التآكل ويحل معادن أخرى كالفلوريت والمونازيت محل الألائيت. وبالرغم من التغير القوي بالمحاليل الحرمائية الغنية بالفلورين عند تكوين معادن ثانوية والتي تسبب تآكل جزء كبير من معدن الألائيت فقد وجد أن العناصر النادرة الأرضية الخفيفة LREE والثوريوم لا تتحرك بل تثبت في هذه الأصناف الثانوية مثل المونازيت والرابدوفان Rhabdophane والثوريانيت. يرجع عدم حركة أو ذوبان LREE إلى تراجع نشاط أيون الفلورين بتكوين الفلوريت وزيادة نشاط أيون الفوسفات PO_4^{3-} والذي يميل لتكوين مركبات مع العناصر الأرضية النادرة.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتراوح لون المعدن ما بين بني فاتح إلى أسود (شكل ٣-١٩) وفي القطاعات الرقيقة المجهرية يكون اللون أصفر أو بني أو بني مخضر (شكل ٣-٢٠). يظهر التغير اللوني في إتجاه α من اللون البني المحمر إلى البني الفاتح وفي الإتجاه β من البني المصفر إلى البني وفي إتجاه γ من البني

المخضر إلى البنى الغامق. البريق زجاجي أو صمغي أو شبه فلزي والمعدن نصف شفاف إلى معتم. المخدش رمادي وتتراوح الصلادة ما بين ٥-٦,٥ أما الإنقسام فهو غير كامل في المستوى {001} وضعيف في المستويين {100} و {110}. المكسر محاري أو غير مستوى.

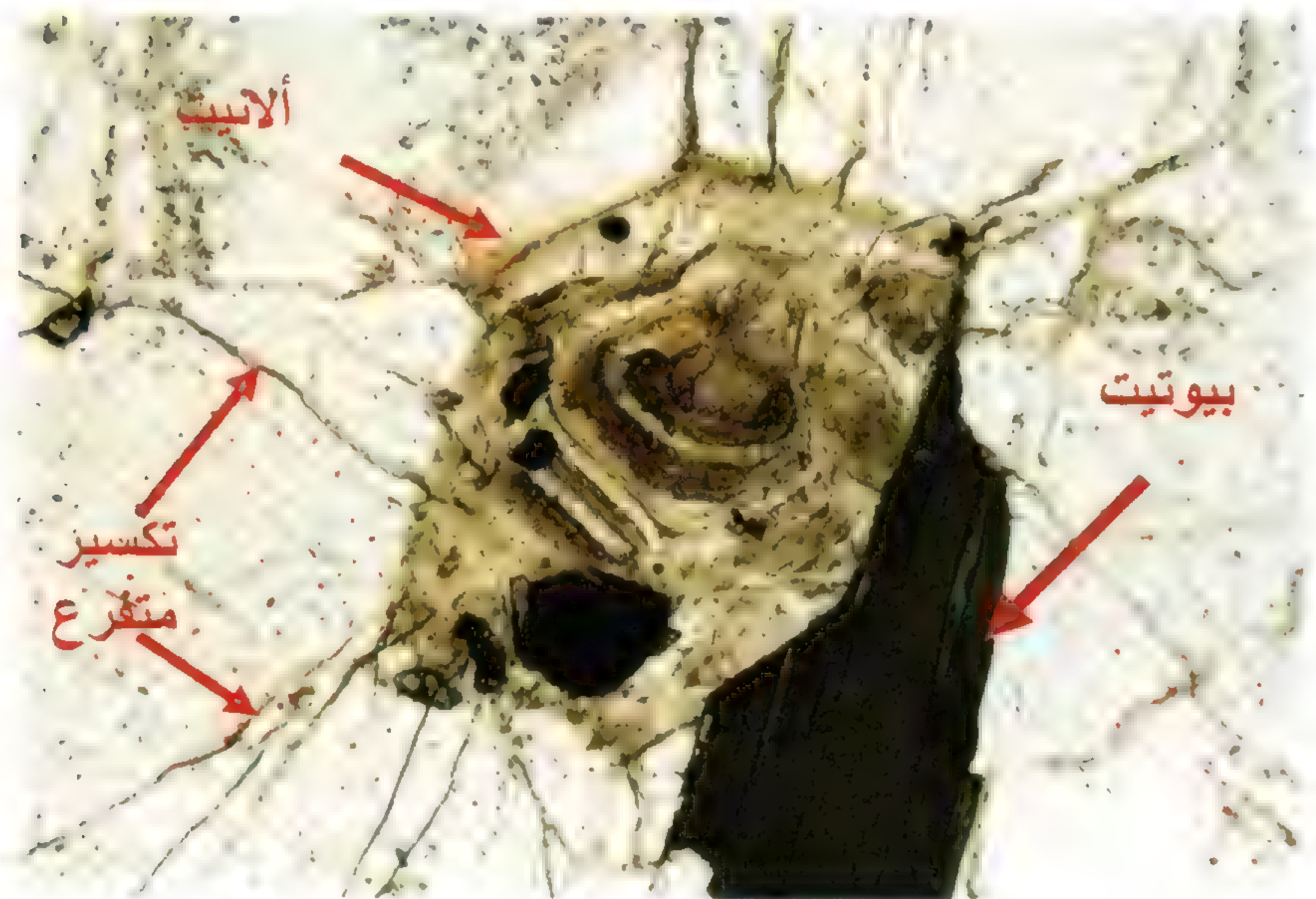


شكل ٣-١٩: أنواع الألائيت الثلاثة: أ- بلورة منشورية سوداء من السيريوم-ألائيت بطول ٠,٨ سم متواجدة مع كوارتز. منجم ثيرو إستريللا، نيو ميكسيكو، أمريكا. ب- بلورة منشورية سوداء من اللانثانم-ألائيت (٠,٥X٠,٩ سم) موجودة مع بلورات أصغر سوداء من الماجنيثيت والخلفية معدن الهيدنبرجيت، منطقة مينا نوبا فيزكايا بأسبانيا. ج- بلورة منشورية بنية اللون من الإيتريوم-ألائيت (حوالي اسم) موجودة في كوارتز. منطقة بون، ساكسوني، ألمانيا.

<http://webmineral.com/specimens/picshow.php>

تؤثر عمليات إنهيار البناء الذري الناتج من التحلل الإشعاعي على الصفات الفيزيائية والبصرية للمعدن فعلى سبيل المثال يمكن أن يعود الفرق الواسع في قيم الوزن النوعي للألائيت (٤,٢-٤) إلى التفاوت في درجات إنهيار البناء الذري Variation in the degree of metamictization ويعود أيضاً إلى درجة التغير حيث تؤدي زيادة

إحتواء المعدن على الماء إلى تمدد المعدن وزيادة حجمه مع نقص في وزنه النوعي. تساهم الطاقة الحرارية الكبيرة الناتجة عن التحلل الإشعاعي أيضاً في تمدد المعدن. عادة ما يحاط الألائيت بكسور cracks تتفرع من حول المعدن إلى المعادن المجاورة (شكل ٣-٢٠). وتنتج هذه الكسور نتيجة للضغط الذي تتعرض له المعادن المجاورة نتيجة للتمدد الحادث بالألائيت. وتتواجد مثل هذه الكسور غالباً حول المعادن المشعة الأخرى كالزركسون واليورانيانيت والثورييت.



شكل ٣-٢٠: صورة مجهرية للألائيت من جرانيت ألومينومي Metaluminous. يظهر المعدن طاقة نتيجة تغير التركيب الكيميائي أثناء المراحل المتعاقبة من نموه. ويؤثر المعدن في المعادن المحيطة مسبباً تكسير متفرع Radial cracks نتيجة زيادة حجمه. الضوء المستقطب (X100)

http://www.union.edu/PUBLIC/GEODEPT/COURSES/petrology/ig_minerals.htm

كما تؤثر عمليات إنهيار البناء الذري أيضاً على معاملات الانكسار وبالتبعية على قرينة الانكسار المزدوج فنجد أن هناك مدى كبير نسبياً من التغير لكل قيمة من هذه المعاملات، حيث تبلغ معاملات الانكسار في معدن الألائيت ألفا $(\alpha) = 1.690 - 1.0791$ و بيتا $(\beta) = 1.7 - 1.815$ و جاما (γ) $= 1.706 - 1.828$ وتبلغ قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.013 - 0.036$.

كما أن إحلال الحديد الثلاثي محل الألومنيوم Al وإحلال العناصر الأرضية النادرة REE محل الكالسيوم Ca يصاحبه زيادة في معاملات الانكسار، وهذا مشابه لما يحدث في سلسلة معادن الإبيدوت-كلينوزوسيت (انظر شكل ٣-١١). وتبلغ الزاوية البصرية ($2V$) في الألائيت ما بين $40-123^\circ$ وبلورات المعدن تحمل علامتان السالبة والموجبة. يمكن تمييز بلورات الألائيت والتي لا تظهر درجات من الإنهيار في البناء الذري ربما لإحتوائها على كميات قليلة من اليورانيوم والثوريوم Non-metamict عن معادن الإبيدوت الأخرى بلونها البنى بينما تتميز الأنواع المتعرضة لهذا الإنهيار بصفاتها الأيزوتروبية ووجود التكسير التفرعى حول المعدن.

التواجدات والصحة المعدنية

يتواجد الألائيت كمعدن إضافي Accessory mineral في الصخور النارية كالجرانيت والجرانوديوريت والمونزوجرانيت والسيانيت والديوريت والبيجماتيت وفي الصخور المتحولة كالنيس والشيست الميكاني. كما يتواجد في الحجر الجيري المتبلور كما يتواجد بكميات أكبر في رواسب التماس في الحجر الجيري وفي البيجماتيت. والمعادن المصاحبة هي الإبيدوت والماجنيتيت والكوارتز والفلسبار. ومن أماكن تواجده منطقة أليوك بجنوب جرينلاند وفينبو بالسويد وأريندال بالنرويج وجبال إلمن بروسيا وبرواسب تلك بمنطقة ترايماونس بفرنسا وريبو بموزامبيق وفي باكويما كانيون بكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية. وفي مصر في عروق البيجماتيت بوادي الجمال بجنوب الصحراء الشرقية وفي بعض أنواع الجرانيت بأسوان.

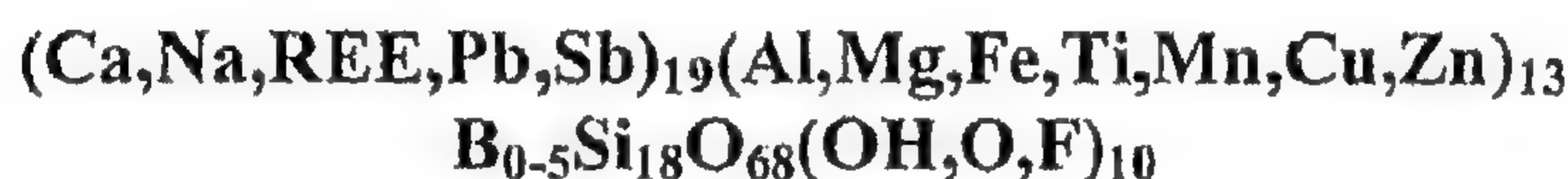
الاستخدامات

عند تواجد الألائيت بكميات إقتصادية، فإنه يستخدم كمصدر للعناصر الأرضية النادرة وخاصة السيريوم. ويستخدم السيريوم في صناعة سبائك الحديد والولاعات والزجاج والسيراميك والخلايا الضوئية وتستخدم نيترات السيريوم Cerous nitrate في الأغراض الطبية كعلاج لأمراض مثل الدوار

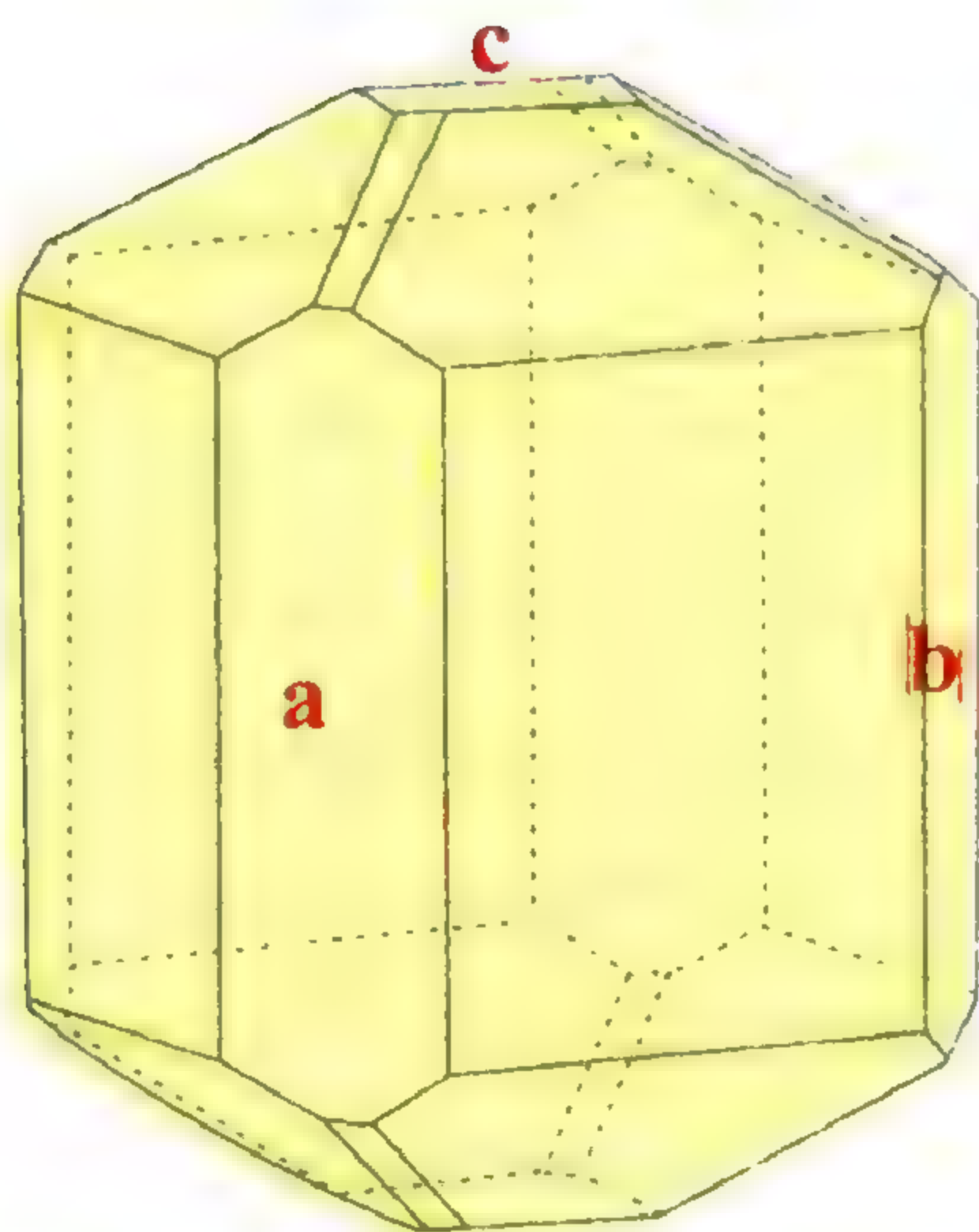
وعدم الإتران Seasickness and chronic vomiting وتستخدم كبريتات السيريوم Ceric sulfate في التحاليل الكيميائية كعامل مؤكسد. ويستخدم اللانثانم في السبائك مثل Misch metal التي تستخدم بدورها في صناعة الولاعات وفي صناعة أنواع معينة من النظارات الطبية. أما الإيتريوم فيستخدم عند خلطه مع الإيروبيوم Europium في صناعة أنابيب التليفزيون Television tubes كما يشيع استخدامه أيضاً في صناعات الزجاج والسيراميك. تفاصيل استخدامات العناصر الأرضية النادرة في المجالات المختلفة يمكن الإطلاع عليها في الموقع الإلكتروني:

<http://www.candldevelopment.com/application.htm>

الفيزيوفيانيت Vesuvianite



أطلق فيرنر Werner عام ١٧٩٥ اسم الفيزيوفيانيت على المعدن بناءً على مكان تواجده في إيطاليا في منطقة فيزوف Vesuvius. ويطلق على المعدن أيضاً اسم آخر هو إيدوكراس Idocrase من اللغة اليونانية بمعنى مكون معدني خليط Mixed form وذلك لأن بلوراته تتواجد في صورة خليط مع معادن أخرى. وتستخدم النوعية النقية من المعدن كحجر للزينة ويطلق عليها اسم كاليفورنيت Californite بناءً على أول مكان أكتشف فيه بولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية.



البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الرباعي (فيزيوفيانيت عالي التماثل High symmetry vesuvianite) أو الميل الواحد (فيزيوفيانيت منخفض التماثل

شكل ٣-٢١: بلورة مركبة لمعدن الفيزيوفيانيت

(Low symmetry vesuvianite). ويحدث ذلك نتيجة حدوث اختلاف قليل في أطوال المحاور الأفقية (a,b). مجموعة النقطة $2/m \ 2/m \ 4/m$ أو $2/m$ والمجموعة الفراغية $P4/nnc$ أو $P2/n$. تتشابه البنية البلورية للمعدن مع معدن الجارنت (دانا ١٩٥١ Dana) وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 15.4 - 15.7$ و $b = 11.6 - 11.9$ أنجستروم ويبلغ ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) = ٢. يشيع تواجد المعدن في هيئة بلورات هرمية قصيرة الطول أو بلورات منشورية طويلة قد تصل إلى ١٥ اسم وللمعدن أشكال بلورية متعددة ومركبة تصل إلى ٣٠ شكل في البلورة الواحدة. ويتواجد المعدن في صورة كتلية أو عمدانية. تلاحظ التوأمية على الأحجام الصغيرة جداً من بلورات المعدن. ويبين شكل (٣-٢١) بلورة مركبة من معدن الفيزيوفيانيت متبلورة في فصيلة الرباعي وتحتوى على أشكال منشورية وهرمية ومسطوح قاعدى.

كيمائية المعدن

يبين جدول (٣-٦) التحليل الكيميائي لمعدن الفيزيوفيانيت. يتكون المعدن أساساً من سيليكات الكالسيوم والماغنسيوم والحديد والألومنيوم، حيث يحل أيون الحديد الثلاثى محل جزء من كل من أيونات الكالسيوم والألومنيوم والماغنسيوم. تحل عناصر أخرى في أحوال كثيرة محل بعض من هذه الكاتيونات مثل العناصر الأرضية النادرة REE والرصاص والأنتيمون والتيتانيوم والمنجنيز والنحاس والزنك. تؤثر هذه الإحلالات على الصفات الفيزيائية والبصرية للمعدن فنجد للمعدن ألوان متعددة كالبنى والأخضر والأسود والبنفسجى بمختلف درجاتها (أشكال ٣-٢٢ إلى ٣-٢٥) كما تختلف قيمة الوزن النوعي تبعاً للأوزان الذرية للكاتيونات المتواجدة في بنية المعدن. وتتميز النوعية التى تحتوى على نسبة عالية من العناصر الأرضية النادرة REE والتى قد تصل أحياناً إلى ١٧% بأن لها أكبر أبعاد لخلية الوحدة لهذا المعدن كما هو الحال في الفيزيوفيانيت من كاليفورنيا San Benito Co., CA. يحتوى المعدن العالى التماثل على كمية من

الكلور والفلور أكبر بكثير من المعدن المنخفض التماثل. يحتوى الفيزيوفيانيت الحاوى على البورون على كميات قليلة جداً من الهيدروكسيل والألومنيوم إذا ماقورن بالتنوع غير الحاوية على البورون، حيث يحل كل من البورون والماغنسيوم محل الألومنيوم والهيدروجين $B+Mg \leftrightarrow 2H+Al$ (دانا ودانا ١٩٩٧ Dana and Dana) كما يحتوى المعدن الحاوى على البورون على كميات أكبر من أيون الحديد الثنائى والماغنسيوم (جدول ٣-٦). يتحلل المعدن جزئياً بتفاعله مع حامض الهيدروكلوريك وكلياً إذا تم حرقه قبل تعرضه للحامض، كما يذوب الفيزيوفيانيت بسهولة فى حامض الهيدروفلوريك.

جدول ٣-٦: التحليل الكيميائى للفيزيوفيانيت

٢	١	الأكسيد
٣٥,٠١	٣٥,٠٣	SiO ₂
٠,٤٣	٠,٥٢	TiO ₂
٣٥,٣١	٣٧,٧	CaO
١٢,١٣	١٧,٠٤	Al ₂ O ₃
٣,٧٦	١,٩١	Fe ₂ O ₃
٣,٦٧	١,٤٢	FeO
٤,٨٤	٢,١٧	MgO
٠,١٣	٠,٠٦	MnO
٣,١٨	--	B ₂ O ₃
٠,٨٦	٢,٨	H ₂ O (calculated)
٩٩,٣٢	٩٩,٦٥	المجموع

تحليل (١). تحليل بالمسبار الإلكتروني للفيزيوفيانيت من منجم جيفرى بكندا (٢٠٠١)

تحليل (٢). تحليل بالمسبار الإلكتروني للفيزيوفيانيت من تيلار بكاليفورنيا بأمريكا (٢٠٠١)

<http://www.minsocam.org/msa/handbook>



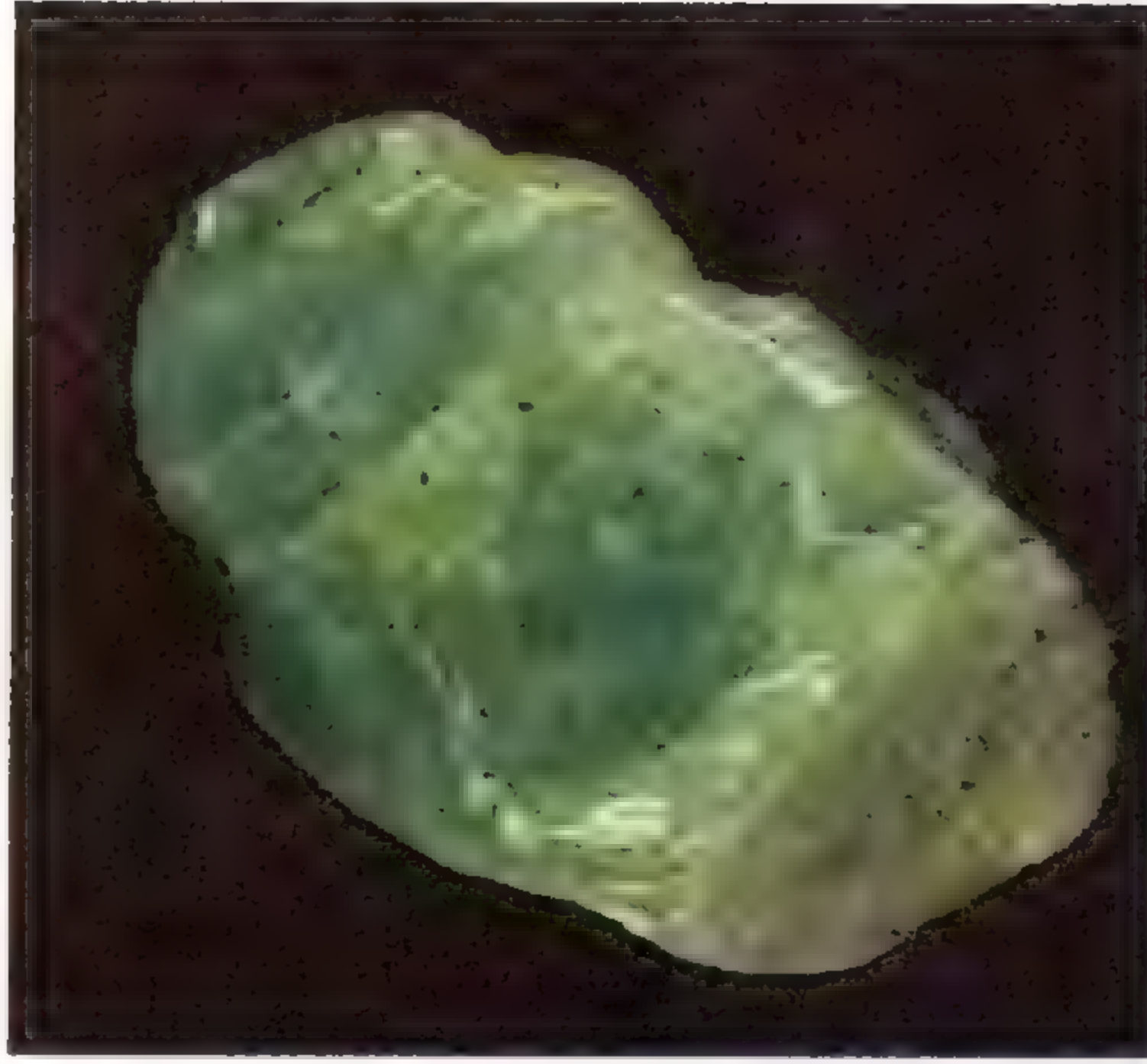
شكل ٣-٢٢: العديد من البلورات البنية اللون من معدن الفيزيوفانييت متواجدة في خلفية بيضاء اللون من الحجر الجيري. أكبر بلورة تصل إلى حوالى ١ سم طول وكل البلورات لها نهاية هرمية ومقاطعها مربعة الشكل. من منطقة كواهيللا بالمكسيك Coahuilla Mexico.

http://www.wildaboutrocks.com/category33_1.htm

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون عادة بنى أو أخضر بدرجاتهما ويتواجد فى ألوان أخرى كالأزرق والأحمر والأسود والبنفسجى وأحياناً عديم اللون إلى أبيض. هناك نوعية خضراء اللون نقية من المعدن يطلق عليها كاليفورنيت (شكل ٣-٢٣). البريق زجاجى إلى راتجى والمعدن شفاف إلى نصف شفاف، كما يشيع فيه النطاكية والمخدش أبيض أو أخضر فاتح. تبلغ الصلادة من ٦ إلى ٧ والإنقسام ضعيف فى الإتجاه {110} وضعيف جداً فى الإتجاهين {100} و {001}. المكسر شبه محارى Subconchoidal أو غير مستوى والمعدن صلب Brittle والوزن النوعى المقاس = ٣,٣٢-٣,٤٣ والمحسوب = ٣,٤٢. فى الشرائح المجهرية المعدن عديم اللون أو أصفر فاتح أو أخضر أو بنى. ويتميز المعدن بإنكساره العالى الذى يؤدى إلى التضاريس العالية وإلى صغر قرينة الانكسار المزدوج. يبلغ معاملي الانكسار $(\omega) = 1.703 - 1.752$.

و(ع) = ١,٧ - ١,٧٤٦. المعدن أحادي المحور سالب أو موجب وأحياناً يكون ثنائي المحور. التغير اللوني ضعيف ما بين عديم اللون إلى أصفر وما بين أصفر إلى أخضر إلى بنى والتفرق قوى في المعدن.



شكل ٣-٢٣: معدن كاليفورنيت أخضر اللون (حجر زينة) من رواسب بولجا بكاليفورنيا. Pulga, California
<http://www.cst.cmich.edu/users/dietlrv/vesuvianite.htm>



شكل ٣-٢٥: بلورات منشورية حمراء داكنة من الفيزيوفيانيت الغنى بالمنجنيز Manganvesuvianite (أطول بلورة حوالي ٢مم) من منجم نقشوانج بجنوب أفريقيا.
<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2764>

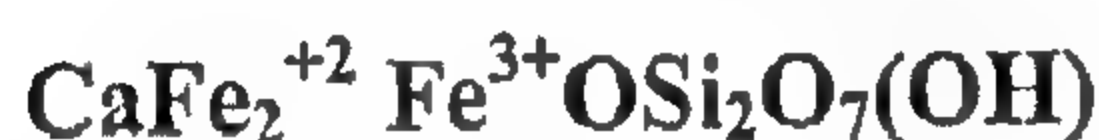


شكل ٣-٢٤: بلورات إبرية بيضاء من الفيزيوفيانيت الغنى بالفلور Fluorvesuvianite من منجم ليبيكو للحديد بروسيا. مساحة الصورة ١,٢ اسم.
<http://webmineral.com/specimens/p>

التواجدات والصحية المعدنية

يتواجد الفيزيوفيانيت غالباً في نطاق التحول التلامسى للحجر الجيري غير النقي ويتواجد أيضاً مع صخور السربنتين وفي الشيست الكلوريتي والنيس كما يتواجد مع الصخور المافية وفوق المافية ومع السيانيت القلوي المتعرض للتغاير ولم يسجل تواجد له مع الصخور البركانية. يتكون الفيزيوفيانيت على التماثل في درجات حرارة (٤٠٠-٨٠٠ درجة مئوية) بينما يتكون الفيزيوفيانيت منخفض التماثل في درجات حرارة أقل من ٣٠٠ درجة مئوية. ويصاحب معادن متعددة كالجروسيلولاريت والفلوجوبيت والدايوسيد والولاستونيت والإسكابولايت والإسبنيل والكالسيت والإبيدوت. من أهم أماكن تواجده منطقة أشتاراجدا في سيبيريا ومقاطعة ذلاتوست بجبال الأورال وتورينتو ولوكانا وفيزوف بإيطاليا وزيرمات بسويسرا وأريندال بالنرويج وكيورا باليابان وكريستمر بكاليفورنيا بأمريكا.

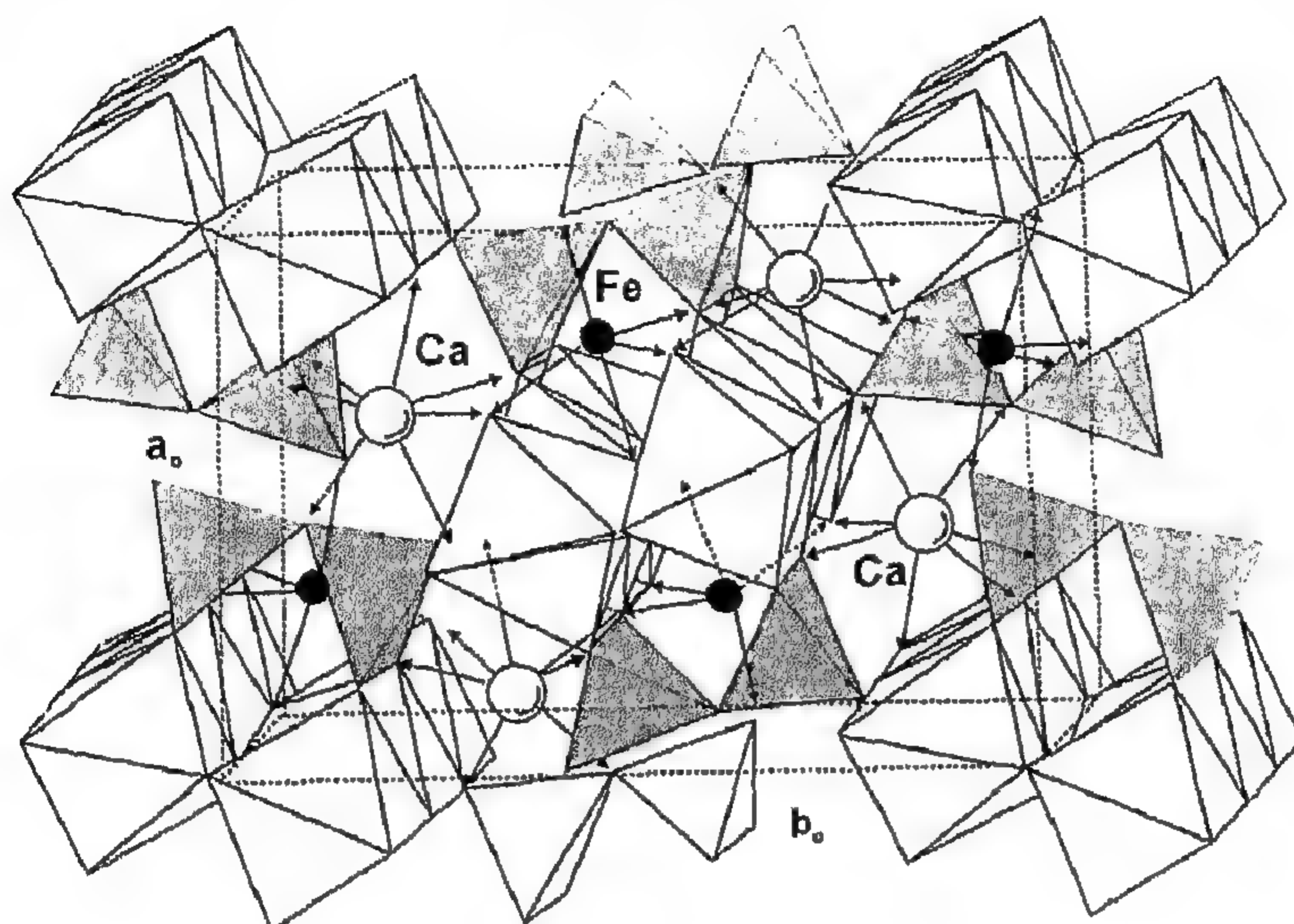
الإلفيت Ilvaite



أطلق على المعدن هذا الاسم من الكلمة اللاتينية *Ilva* وهو اسم لجزيرة إلبا Elba في إيطاليا حيث أكتشف لأول مرة وللمعدن اسم آخر هو ليفريت lievrite.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة المعيني القائم وفي بعض الأحيان بفصيلة الميل الواحد. ويوضح الشكل (٣-٢٦) البنية البلورية لمعدن الإلفيت حيث تتكون من أعمدة مزدوجة من ثمانى الأوجه الذى يحيط بالحديد الثنائى، هذه الأعمدة تمتد موازية للمحور "c" وتتربط بواسطة مجموعات Si_2O_7 . تملئ الأماكن الواقعة ما بين ثمانيات الأوجه بالحديد الثلاثى وذرات الكالسيوم. تتواجد مجموعات الهيدروكسيل فى الأركان الخاصة بثمانيات الأوجه التى تحيط بالحديد الثنائى ولا تتربط هذه المجموعات سواء مع Si_2O_7 أو الحديد الثلاثى



شكل ٣-٢٦: البنية البلورية للإلفيت.



شكل ٣-٢٧: بلورة إلفيت منشورية سوداء اللون موجودة مع بلورة كوارتز سداسية من منجم سوفيتسكيج الأول بروسيا (مساحة الصورة First Sovietskij mine, ٤,٥x٣,٥ سم) Russia.

ولذلك يصبح التركيب الكيميائي للمعدن $\text{CaFe}_2^{+2}\text{Fe}^{3+}\text{OSi}_2\text{O}_7(\text{OH})$. تفسر الأعمدة التي يشكلها ثمانيات الأوجه المحيطة بالحديد الثنائي Fe-octahedra والتي تتواجد موازية للمحور الرأسى "c" الشكل المنشورى الذى تأخذه بلورات المعدن (شكلى ٣-٢٧، ٣-٢٨). مجموعة النقطة $2/m \ 2/m \ 2/m$ أو $2/m$ والمجموعة الفراغية $P6_3/m$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 8,8$ ، $b = 13,019$ ، $c = 5,852$ أنجستروم ويبلغ ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 4$. فى بعض الأحيان

تزيد زاوية β قليلاً عن ٩٠ درجة وتبلغ ٩٠,٢٠٩ درجة، لذا تتواجد بلورات المعدن في فصيلة الميل الواحد وتبلغ أبعاد الخلية في هذه الحالة $A = ٣,٠١٠٣$ ، $B = ٨,٨٠٣٩$ ، $C = ٥,٨٥١٧$ أنجستروم.



شكل ٣-٢٨: بلورة إلفيت سوداء اللون موجودة مع بلورات كسوارتز من منجم نيكولايفسكي بروسيا (مساحة الصورة ٥x٤ سم). Nikolaevskiy mine (Russia)

كيمائية المعدن

جدول ٣-٧: التحليل الكيميائي للإلفيت

٢	١	الأكسيد
٢٩,٣٦	٢٩,٣٠	SiO ₂
١٩,٥٥	٢٠,٣٠	Fe ₂ O ₃
٣٥,٢٠	٣٣,٥٠	FeO
١٣,٦٩	١٣,٧١	CaO
١	١,٩٧	MnO
٢,٢٠	١,٩٠	H ₂ O
١٠٠,١٠	١٠٠,٦٨	المجموع

يظهر جدول (٣-٧) نتائج التحليل الكيميائي لمعدن الإلفيت. ويبين الجدول أن المعدن غني بعنصر الحديد سواء في صورته الثنائية أو الثلاثية وتصل نسبة أكسيد الحديد الكلية ٤٩,٦%. أى أن حوالى نصف المكون الكيميائي للمعدن هو أكسيد الحديد ويتحول المعدن لصورة جيلاتينية مع حامض الهيدروكلوريك. نسبة أكسيد المنجنيز قد تصل إلى حوالى ٨,٥% (دانا ودانا ١٩٩٧ Dana and Dana).

التحليل (١) إلفيت من إليماوساك، جرينلاند
Ilimaussaq intrusion, Greenland.
<http://www.minsocam.org/msa/handbook/>

التحليل (٢) إلفيت (كوتسوف ١٩٦٨ Kostov).

ويسهل تغاير معدن الإلفيت بعمليات التحول السائلي Metasomatism حيث يتحول إلى معدن السيدريت FeCO_3 (شكل ٣-٢٩)، حيث يحل CO_2 بإستمرار محل مجموعة السيليكات فيما يعرف CO_2 -metasomatism. ويأخذ السيدريت نفس الشكل المنشوري الأولي للإلفيت مكوناً أشكال خادعة متغايرة Alteration pseudomorphs وتشمل هذه العملية أيضاً تكوين معدن الكالسيت CaCO_3 .

الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٣-٢٩: معدن السيدريت الثانوي (FeCO_3) بعد إحلاله لمعدن الإلفيت من منجم نيكولافيسكي بروسيا (حجم الصورة ٤,٥x٥ سم). Nikolaevskiy mine, Russia

اللون أسود حديدي أو رمادي غامق (شكل ٣-٢٧، ٣-٢٨). في الضوء المنعكس اللون رمادي فاتح إلى رمادي مزرق وأحمر إلى بنفسجي. البريق شبه فلزي والمعدن معتم إلا أنه نصف شفاف في الحبيبات الناعمة ومخدش الإلفيت أسود وأحياناً بني أو أخضر. الصلادة من ٥,٥-٦ والإنقسام مميز في الإتجاهين $\{001\}$ و $\{010\}$. المكسر غير مستوي والمعدن صلب Brittle. الوزن النوعي المحسوب = ٤,٠٦٤ والمقاس = ٣,٩٩-٤,٠٥. التفرق قوى ويزداد الإمتصاص في المعدن في

الإتجاه من X إلى Y إلى Z. التغير اللوني قوي حيث يكون في الإتجاه X أخضر غامق وفي الإتجاه Y بني أصفر إلى بني غامق وفي الإتجاه Z بني غامق. المعدن ثنائي المحور موجب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1,727$ وبيتا $(\beta) = 1,870$ وجاما $(\gamma) = 1,883$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,156$. الزاوية البصرية $(2V) = 20-30$ درجة.

التواجدات والصحة المعدنية

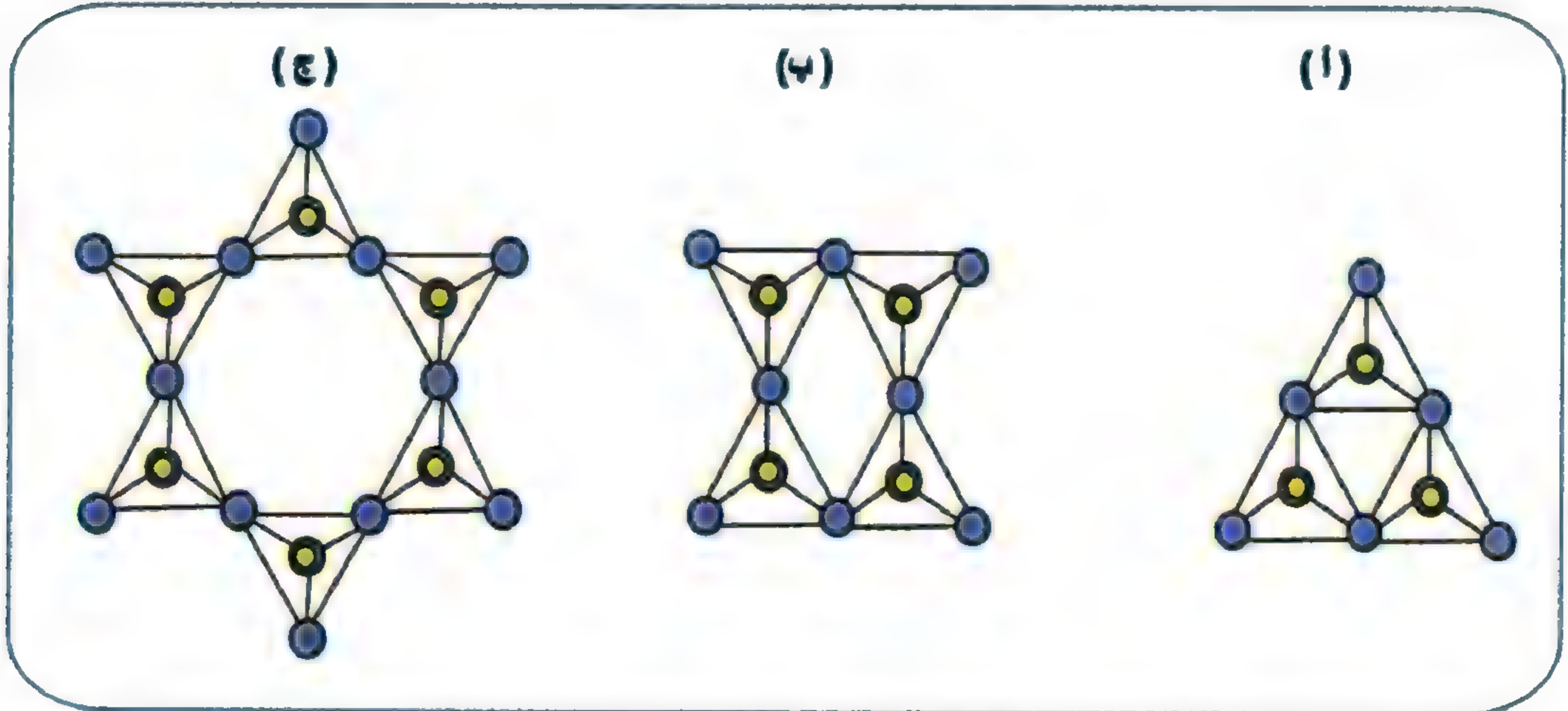
يتواجد الإلفيت في الصخور المتأثرة بعمليات التحول السائلي وفي رواسب الحديد والزنك والنحاس وفي السيانيت وفي الحجر الجيري والدولوميت المتحول مع المعادن السيليكات الكلسية الأخرى. والمعادن المصاحبة هي الزيولايت والجارنت والكوارتز والهيدنبرجيت والأمفيبول والسفاليريت والفلوريت. ويتواجد المعدن في العديد من الأماكن من أهمها جزيرة إلبا في ريومارينا بإيطاليا وتيرول بالنرويج وفي سانت أندرياسبيرج وساكسوني بألمانيا وجزر سيكلاديس باليونان وفي منجمي سوفيتسكيج الأول ونيكولافيسكي بروسيا ومنجمي كاميوكا وأوبيرا باليابان وفي جبال دراجون بأريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية.

الباب الرابع

المعادن السيليكاية الحلقية

Cyclosilicates

تُعد المعادن السيليكاية الحلقية إحدى طويفات المعادن السيليكاية الصغيرة العدد نسبياً ولكنها ذات أهمية كبيرة للمشتغلين في مجال الأحجار الكريمة. تتكون المعادن السيليكاية الحلقية من رباعيات الأوجه متصلة في شكل حلقي عن طريق إقتران ذرات الأكسجين حيث تكون نسبة السيليكون إلى الأكسجين ١:٣. يتصل هنا ٣ أو ٤ أو ٦ من رباعي الأوجه السيليكاية ليكونوا ثلاث أشكال حلقية (شكل ٤-١)، وهم: حلقة Si_3O_9 ، حلقة Si_4O_{12} وحلقة Si_6O_{18} . وهناك أيضاً بنى حلقية أكثر تعقيداً حيث تشتمل على أكثر من ثماني وحدات من رباعي الأوجه السيليكاية. ومن أمثلة المعادن السيليكاية الحلقية التي سنتناولها في هذا الباب: التورمالين والبيريل والكورديريت والأكسينيت.

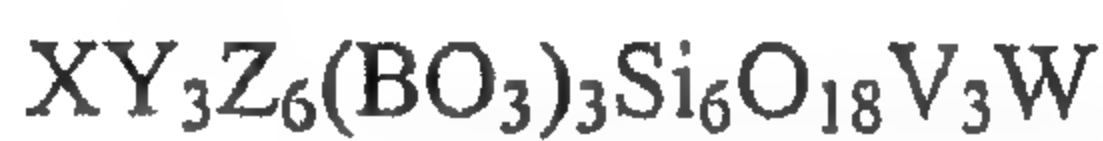


شكل ٤-١: ترتيب وحدات رباعي الأوجه السيليكاية بطويف المعادن السيليكاية الحلقية، (أ) ٣ وحدات، (ب) ٤ وحدات، (ج) ٦ وحدات.

التورمالين Tourmaline



أُشتق اسم التورمالين من الكلمة الإغريقية *Sinhalese tourmalli* والتي تعنى "بنى اللون" وهو اللون المميز لبعض أنواع التورمالين المستخدمة كأحجار كريمة من منطقة سيلون Ceylon. يُطلق اسم التورمالين على مجموعة من المعادن السيليكاتية ذات الصيغة العامة:



حيث أن:

X = صوديوم أو كالسيوم

Y = ليثيوم ، ماغنسيوم ، منجنيز ، حديد ، ألومنيوم ، الخ..

Z = ألومنيوم ، ماغنسيوم ، كروميوم ، حديد ثلاثي ، حديد ثنائي ، الخ..

V = مجموعة الهيدروكسيل (OH)

W = مجموعة الهيدروكسيل (OH) ، فلور (F) ، أكسجين (O)

كان هناك خلط في تسمية معادن التورمالين على مدار السنوات العديدة الماضية ويرجع ذلك إلى عدة أسباب، منها:

١- إهتمام العلماء بتحديد اسم المكون النهائي End-member المثالي لمجموعة التورمالين دون تحديد حدود استخدام هذا الاسم.

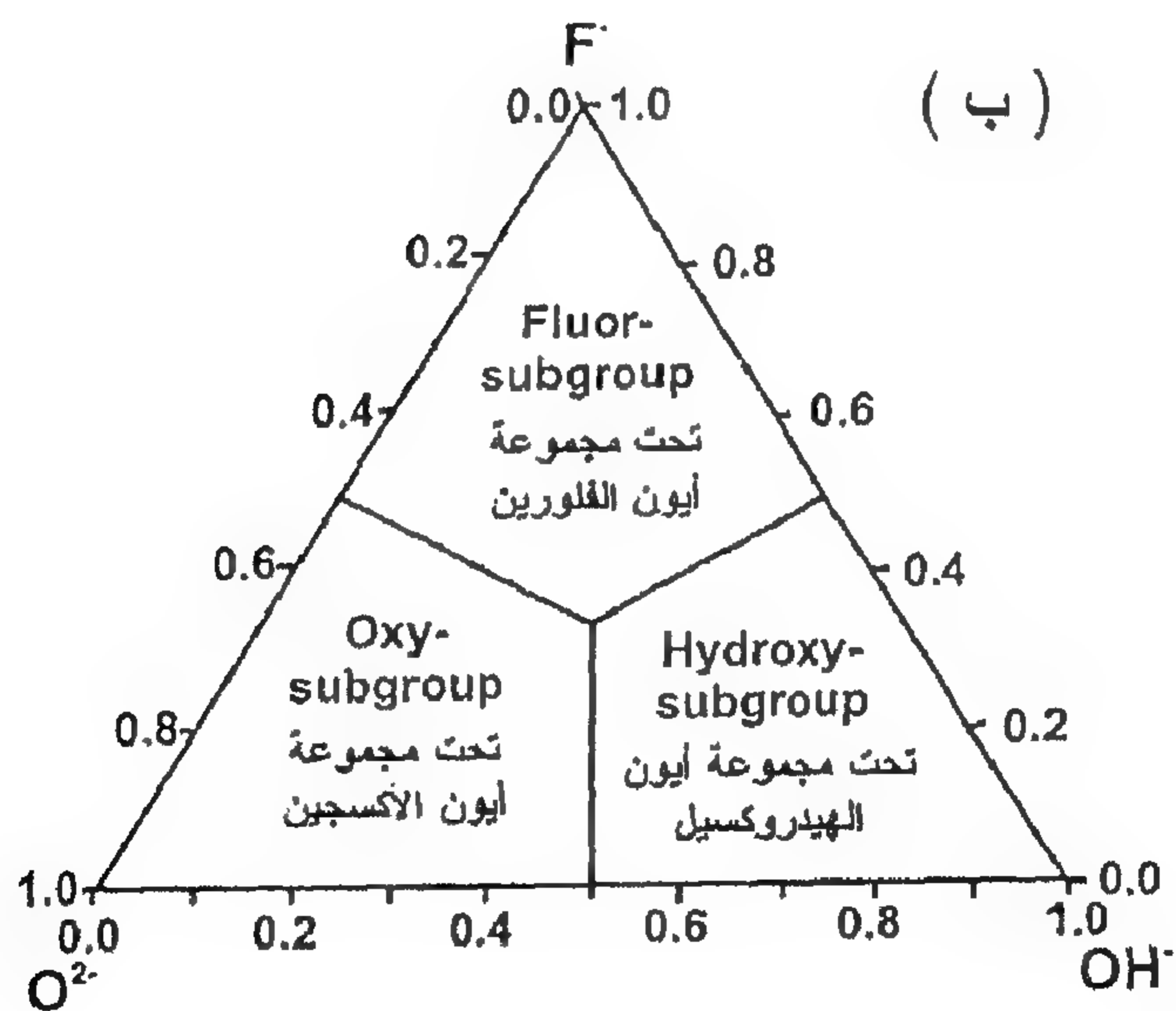
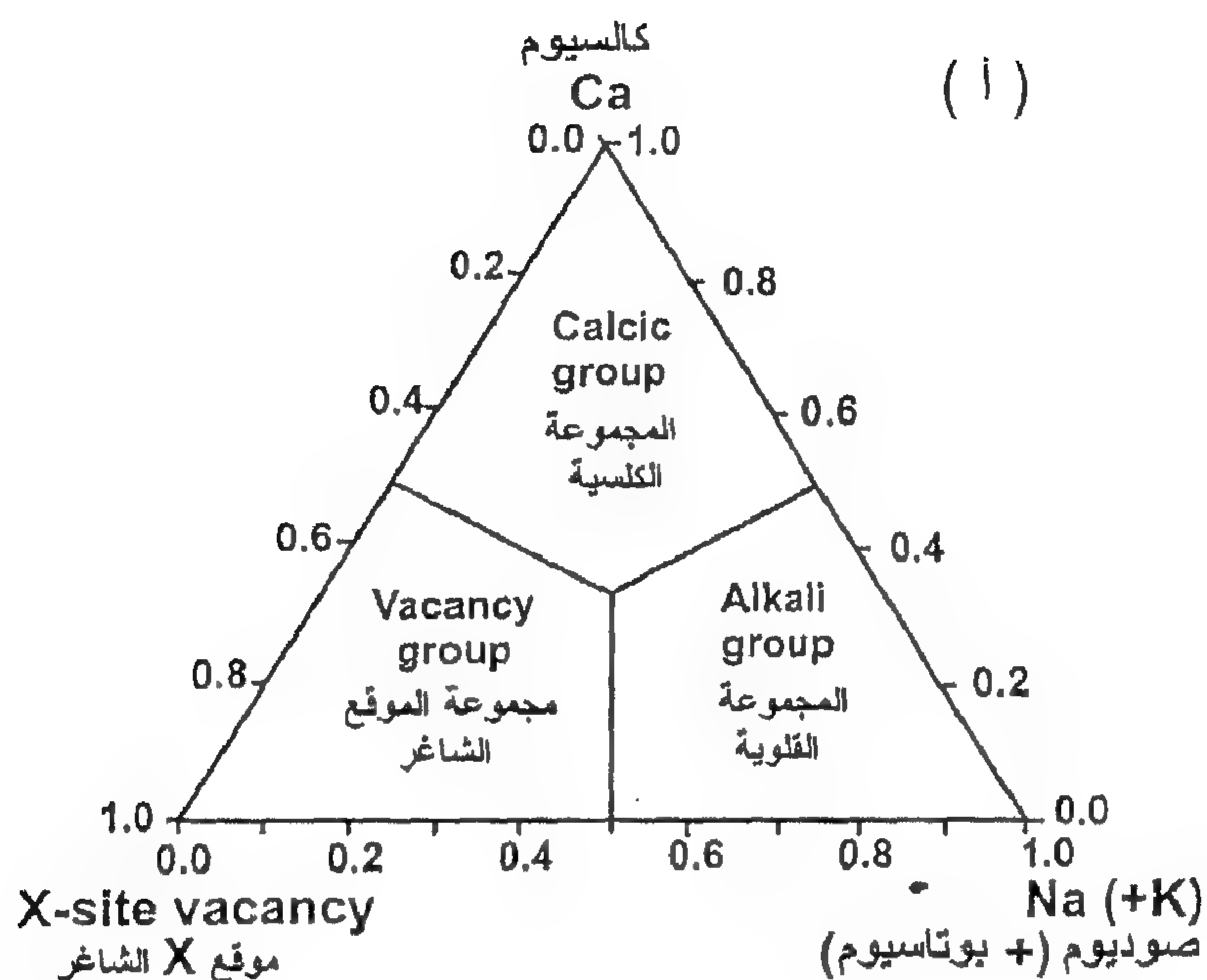
٢- إهتمام بعض التوصيفات السابقة بتحديد التركيب العام لمعادن التورمالين دون تحديد تركيب المكون النهائي.

٣- كان هناك إعتقاد من العلماء أن إعطاء اسم جديد لمعدن من معادن مجموعة التورمالين يجب أن يكون فقط في حالة ما إذا زادت نسبة المكونات الكيميائية التي تشغل المواقع المختلفة عن ٥٠%.

٤- عدم توافر المخططات الكافية لتمثيل التغيرات التركيبية لمعادن التورمالين.

لقد دفعت هذه الأسباب العديد من العلماء إلى الإهتمام بتصنيف مجموعة معادن التورمالين وعلى رأسهم هاوثرن وهنرى (Hawthorne and Henry, ١٩٩٩)، حيث أمكن تصنيف التورمالين إلى ثلاث مجموعات أساسية بناءً على نسبة العناصر الشاغلة للموقع X وهى: (أ) مجموعة التورمالين القلوى Alkali-tourmaline، (ب) مجموعة التورمالين الكالسي Calcic-tourmaline، (ج) مجموعة التورمالين ذات الموقع الشاغر Vacant-tourmaline group (شكل ٤-١٢). ساعد هذا التصنيف إلى حد كبير فى فهم نشأة مجموعة معادن التورمالين بشكل يحاكي التصنيف العام لمجاميع معادن الأمفيبول والبيروكسين. وحيث أن الفلورين والأكسجين يمكن أن يحلا محل مجموعة الهيدروكسيل بالموقع W بالصيغة العامة للتورمالين، فقد أمكن تحديد مجاميع تحتية أخرى من التورمالين مثل فلور- Fluor-subgroup وهيدروكسي- Hydroxy-subgroup وأوكسي- Oxy-subgroup (شكل ٤-٢ب). حسب ما تم الإتفاق عليه من جمعية علم المعادن الدولية International Mineralogical Association (IMA)، فإن هناك أربعة عشر نوعاً من التورمالين كما هو واضح بالجدول رقم (٤-١).

وبشكل عام، يمكن القول بأن هناك خمس أنواع رئيسية من التورمالين، وهى الإلبايت Elbaite والدرافيت Dravite والسكورل Schorl واليوفيت Uvite والبيرجيريت Buergerite. يُعد الإلبايت أكثر الأنواع جاذبية من ناحية اللون مما جعله يستخدم فى كثير من الأحيان كحجر كريم. يطلق على الإلبايت أسماء متنوعة أخرى بناءً على لونه، فمثلاً يطلق اسم إنديكوليت Indicolite على النوع ذو اللون الأزرق، بينما يسمى النوع ذو اللون الأحمر روبيليت Rubellite، ويسمى النوع الأخضر فيرديليت Verdelite، بينما يطلق على النوع الذي يجمع اللونين الأحمر والأخضر اسم تورمالين بطيخي Watermelon tourmaline. عادة ما تحتوي البلورة الواحدة للتورمالين على عدة نطق لونية.



شكل ٤-٢: (أ) تصنيف التورمالين إلى مجاميع بناءً على نسبة العناصر الشاغلة للموقع X. (ب) تصنيف التورمالين إلى مجموعات تحتية بناءً على إشغال الفلورين والأكسجين والهيدروكسيل للموقع W (هاوثورن وهنري ١٩٩٩).

يعتبر معدن السكورل أكثر معادن التورمالين شيوعاً حيث يتواجد كمكون أساسي أو إضافي بالصخور النارية والمتحولة. يحتوى السكورل على نسبة عالية من الحديد مما يكسبه اللون الأسود أو المعتم وهذا ما يجعله يستخدم كحجر زينة Ornamental stone وليس كحجر كريم. وعلى الجانب الآخر نجد أن الدرافيت أقل إنتشاراً من الإلبايت والسكورل ولكنه يتميز بالشكل البلوري كبير الحجم. كما يُعد اليوفيت من الأنواع النادرة لمجموعة التورمالين ويتميز ببلوراته القصيرة والحادة والخشنة Stubby والتي تختلف عن البلورات المنشورية الطويلة لأنواع التورمالين الأخرى. أما البيرجيريت فيعتبر أيضاً من الأنواع النادرة للتورمالين ويتشابه مع السكورل في التركيب الكيميائي (تورمالين غنى بالحديد والماغنسيوم) ولكن البيرجيريت يختلف في تواجد الحديد على صورة ثلاثية التأكسد Fe^{3+} ، بينما يوجد الحديد بالسكورل في حالة تأكسد ثنائي Fe^{2+} . علاوة على ذلك فإن البيرجيريت يحتوى على فلورين بدلاً من الهيدزوكسيل.

جدول ٤-١: أنواع التورمالين حسب ما تم الإتفاق عليه من قبل جمعية علم المعادن الدولية (IMA).

Species	الأنواع	(X)	(Y ₃)	(Z ₆)	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W
التورمالين القلوي Alkali tourmaline								
Elbaite	إلبايت	Na	Li _{1.5} Al _{1.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Schorl	سكورل	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Dravite	درافيت	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Olenite*	أولينيت	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	(OH)
Chromdravite	كروم درافيت	Na	Mg ₃	Cr ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

Buergerite بيرجيريت	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	F
Povondraite* بوفوندرائيت	Na	Fe ³⁺ ₃	Fe ³⁺ ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Vanadiumdravite فانيديوم درافيت	Na	Mg ₃	V ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

التورمالين الكلسي Calcic tourmaline

Liddicoatite* ليديكوأتيت	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Uvite* يوفيت	Ca	Mg ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Hydroxy-feruvite* هيدروكسي-فيريوفيت	Ca	Fe ²⁺ ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

التورمالين ذو الموقع X الشاغر X-site vacant tourmaline

Rossmannite روزمانيت	□	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Foitite* فويتيت	□	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Magnesianfoitite مجنيزيوفويتيت	□	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

* هذه الأنواع (المكونات النهائية End-members) تم تحويلها عن الصيغة الأصلية المقترحة لكي تعكس مكونات نهائية مناسبة (هاوثورن وهنري ١٩٩٩).

كما اقترح هاوثورن وهنري (١٩٩٩) عدد إضافي من أنواع التورمالين والنتائج من وجود تغيرات كيميائية بالبنية البلورية للتورمالين (جدول ٤-٢) ولكن هذه الأنواع مازالت في حاجة إلى المزيد من التوضيح.

جدول ٤-٢: أنواع إضافية مفترضة للتورمالين والمستنبطة من مواقع الإشغالات به .

Species (hypothetical) أنواع افتراضية	(X)	(Y ₃)	(Z ₆)	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W
التورمالين القلوي							
Fluor-elbaite فلور-إلبايت	Na	Li _{1.5} Al _{1.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-schorl فلور-سكورل	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-dravite فلور-درافيت	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-olenite فلور-أولينيت	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	F
Fluor-chromdravite فلور-كروم درافيت	Na	Mg ₃	Cr ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Hydroxy-buergerite هيدروكسي-بيرجيريت	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	(OH)
Oxy-elbaite أوكسي-إلبايت	Na	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-schorl أوكسي-سكورل	Na	Fe ²⁺ Al ₂	Fe ²⁺ Al ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-dravite أوكسي-درافيت	Na	MgAl ₂	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-chromdravite أوكسي-كروم درافيت	Na	MgCr ₂	MgCr ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Al-Cr-povondraite ألومنيوم-كروم - بوفوندرائيت	Na	Al ₃	Mg ₂ Cr ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O

التورمالين الكلسي

Hydroxy-liddicoatite هيدروكسي-ليديكوأيت	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Hydroxy-uvite هيدروكسي - يوفيت	Ca	Mg ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Fluor-feruvite فلور-فيريوفيت	Ca	Fe ²⁺ ₃	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F

Oxy-liddicoatite أوكسي-ليديكوأيت	Ca	Li _{1.5} Al _{1.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-uvite أوكسي-يوفيت	Ca	MgAl ₂	Mg ₂ Al ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Ferri-uvite فير-يوفيت	Ca	MgFe ³⁺ ₂	Mg ₂ Fe ³⁺ ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-feruvite أوكسي-فيريوفيت	Ca	Fe ²⁺ Al ₂	MgAl ₅	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Ferri-feruvite فير-فيريوفيت	Ca	Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂	Mg ₂ Fe ³⁺ ₄	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O

التورمالين ذو الموقع X الشاغر

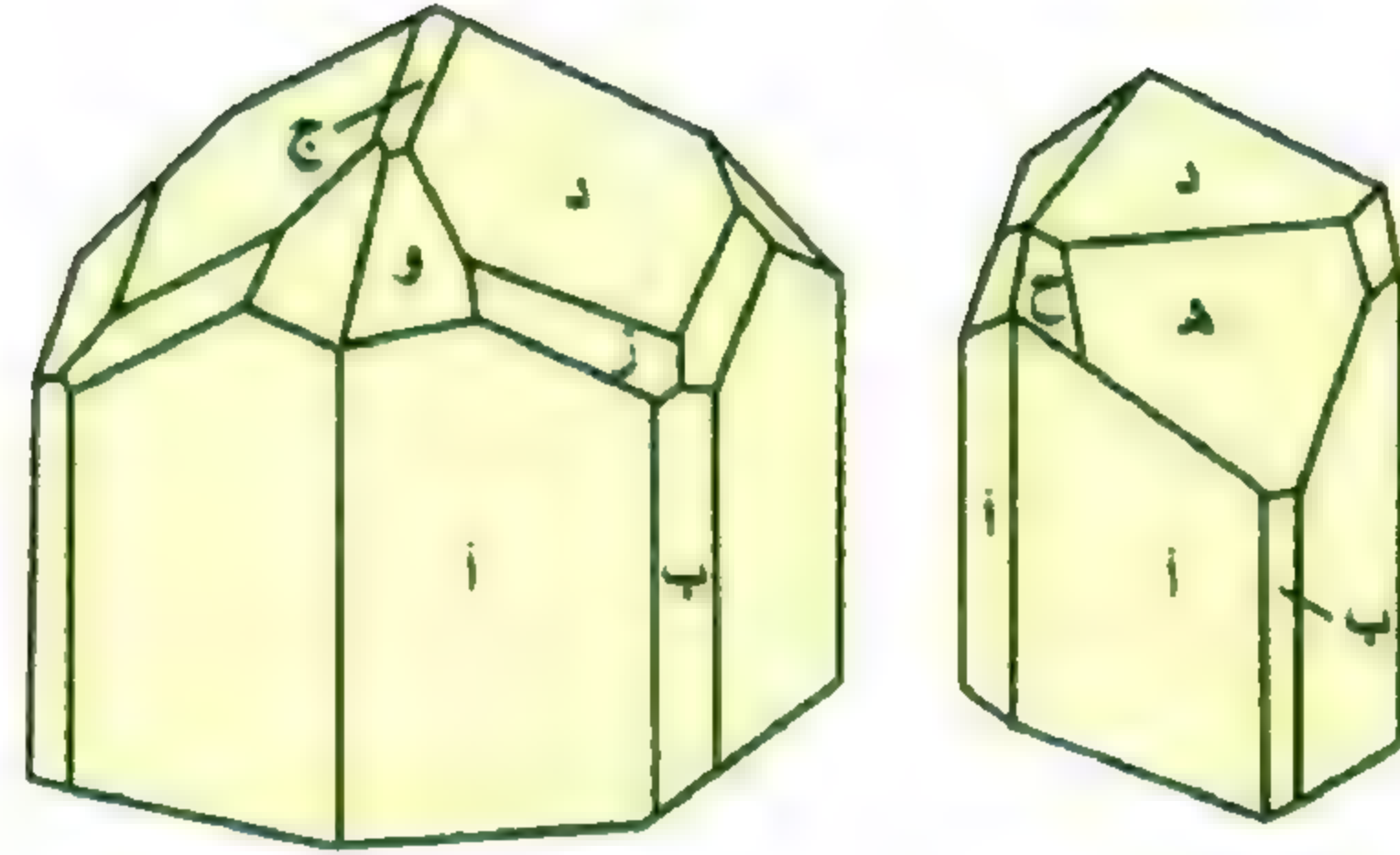
Fluor-rossmanite** فلور-روزمانيت	□	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-foitite** فلور-فويتيت	□	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Fluor-magnesio-foitite** فلور-مجنيزيوفويتيت	□	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Oxy-rossmanite أوكسي-روزمانيت	□	Li _{0.5} Al _{2.5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-foitite أوكسي-فويتيت	□	Fe ²⁺ Al ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-magnesio-foitite أوكسي-مجنيزيوفويتيت	□	MgAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-Mg-ferri-foitite أوكسي-ماغنسيوم-فير-فويتيت	□	MgFe ³⁺ ₂	Fe ³⁺ ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O
Oxy-ferri-foitite أوكسي-فير-فويتيت	□	Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂	Fe ³⁺ ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O

** هذه الأنواع من الممكن تواجدها نظرياً، ولكن فعلياً غير موجودة وذلك لتأثير وجود الفلورين على موقع الإشغالات X.

البنية البلورية

يتبلور التورمالين في فصيلة السداسي حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ = ١٥,٨٤ - ١٦,٠٣ ج = ٧,١٠ - ٧,٢٥ أنجستروم، مقدار مامتلكه خلية الوحدة من الذرات (Z) = ٣؛ مجموعة النقطة 3m والمجموعة الفراغية R3m. تتخذ

بلورات التورمالين أشكال منشورية ثلاثية ذات إستطالة في إتجاه المحور البلوري "C". يظهر القطاع العرضي من هذه البلورة على شكل مثلث ذو زوايا بين وجهية مستديرة (شكل ٤-٣). كما يتواجد التورمالين على شكل كتل متوازية أو شعاعية. تنتهى البلورات عادة بالمسطوح والأهرامات الثلاثية المزدوجة.



شكل ٤-٣: بعض من الأشكال البلورية المميزة لمعدن التورمالين. تتكون البلورة من المنشور (أ، ب)، معيني الأوجه (ج، د، هـ) ومثلثي الأوجه (و، ز، ح).

رغم التقدم في تقنيات الأجهزة المعملية، إلا أن البنية البلورية لمعظم أنواع التورمالين لازالت غير مفهومة بشكل جيد، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

- ١- حدوث تفاعلات معقدة بين الأيونات في المواقع الكاتيونية المتعددة. وتعود معظم هذه التفاعلات إلى الحديد وتؤثر بشكل كبير على اللون، والتغير اللوني والصفات السبيكتروسكوبية وذلك عن طريق تفاعلات تبادلية مزدوجة بين أيوني الحديد الثنائي والثلاثي.
- ٢- معظم الأجهزة المستخدمة للتحاليل الكيميائية مثل جهاز المسبار الإلكتروني Microprobe لا تستطيع قياس البورون B بالدقة الكافية كي يتسنى فهم العلاقة الكمية بين المتفاعلات والنواتج بالتفاعلات الكيميائية Stoichiometry، وكذلك الحال أيضاً بالنسبة إلى عنصر الليثيوم Li وحالات الحديد المؤكسد.

٣- يتم إهمال الإتزان القائم بين الأكسجين والهيدروجين H-O في التورمالين، والذي أدى إلى بعض الافتراضات عن عدد ذرات الأكسجين

والهيدروكسيل في المواقع O_1 و O_3 (سيتم معرفة المقصود بهذه المواقع بالفقرات التالية).

أدت هذه العوامل إلى اعتماد معظم الأبحاث التي تناولت التورمالين على بيانات غير كاملة مما تسبب في حدوث سلسلة من الافتراضات عند حساب الكاتيونات بالصيغة الكيميائية.

يوضح شكل رقم (٤-٤) البنية البلورية للتورمالين والتي تتميز بحلقات مكونة من ٦ مجموعات من رباعي الأوجه (Si_6O_{18}) بالمواقع T، حيث تشير ذرات الأكسجين التي توجد على قمة هذه الحلقات إلى القطب السالب للمحور البلوري "c" وينتج عن ذلك الطبيعة اللامركزية في بنية التورمالين Acentric nature. يشغل الأكسجين المواقع T رباعية الأوجه، مع وجود كميات موضعية بسيطة من الألومنيوم، ومن الممكن أيضاً أن يتواجد البورون بهذه المواقع (هاوثرن وآخرون ١٩٩٣ Hawthorne et al.).

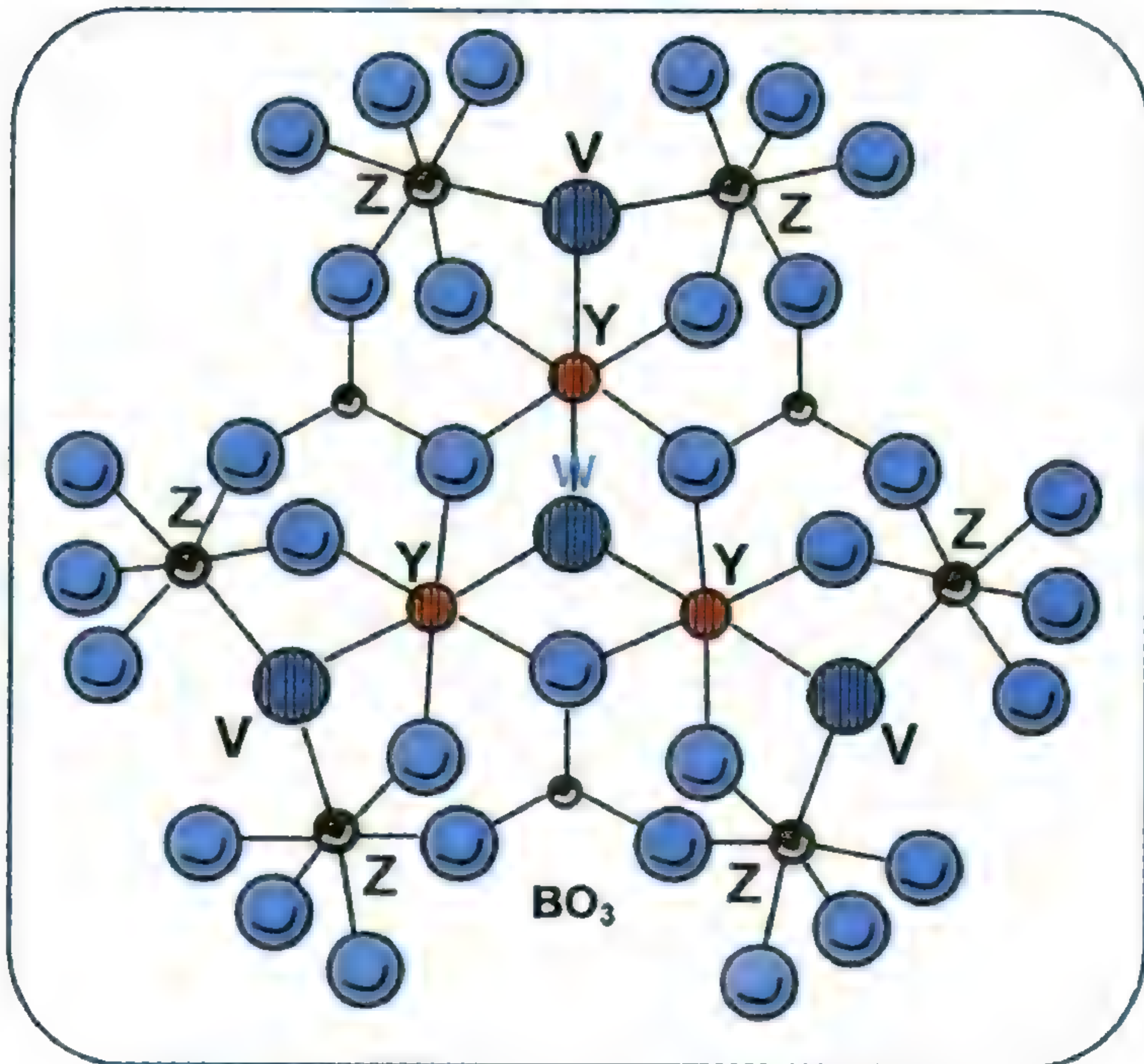
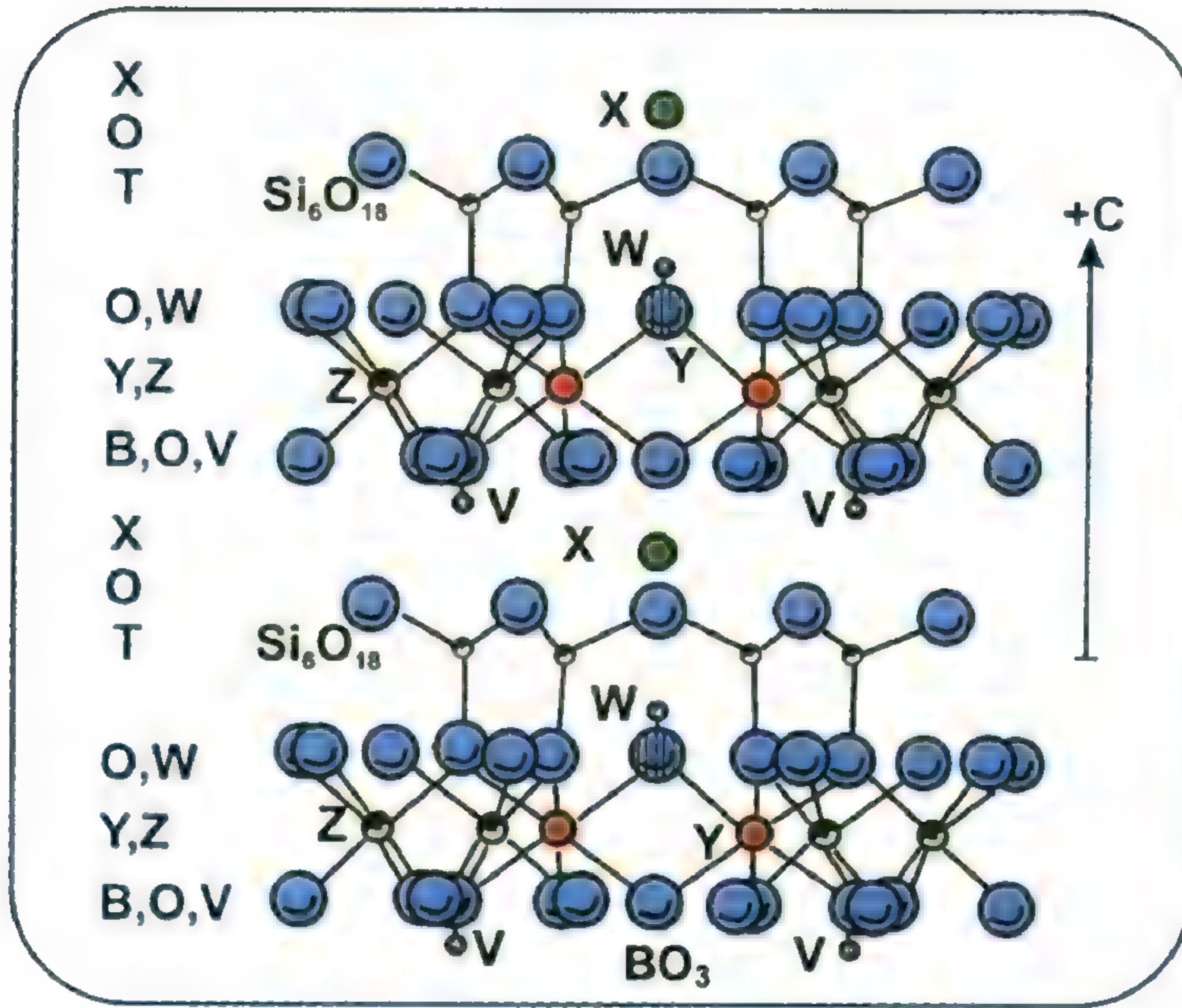
تتبادل مجموعات البورات BO_3 المثلثية (شكل ٤-٤ب) مع وحدات رباعي الأوجه والتي تقع موازية للمستوى {1000}. دلت معظم الدراسات البلورية على أن هناك كميات من البورون بهذا الموقع (هاوثرن ١٩٩٦ Hawthorne، بلووداكس وآخرون ١٩٩٩ Bloodaxe et al.). ترتبط حلقات رباعي الأوجه المستوية بواسطة نوعين من وحدات ثماني الأوجه هم Z و Y. حيث يكون ثماني الأوجه Z صغير نسبياً ومشوه إلى حد ما ويتم شغله بالكاتيونات ثلاثية الشحنة مثل الألومنيوم والحديد الثلاثي والكروميوم والفاناديوم V^{3+} ، Cr^{3+} ، Fe^{3+} ، Al^{3+} ، ولكن قد يحتوى أيضاً على كميات ذات مغزى من الكاتيونات الثنائية مثل الماغنسيوم Mg^{2+} ومن المحتمل أيضاً الحديد الثنائي Fe^{2+} . يقوم الكاتيون بالموقع Z بدور حلقة الوصل بين أجزاء البنية من خلال محور ثلاثي التماثل Three-fold screw axis.

على الجانب الآخر، يكون ثماني الأوجه Y منتظم نسبياً ويتم شغله بمجموعة كبيرة من الكاتيونات المتعددة التكافؤ، غالباً مثل التيتانيوم والحديد الثلاثي والكروميوم والفاناديوم والألومنيوم والمنجنيز والحديد الثنائي

والماغنسيوم والليثيوم. أظهرت معظم الدراسات الخاصة بالبنية البلورية للتورمالين بأن هناك قليل أو لا يوجد أماكن شاغرة بالموقع Y (Y site vacancy) (هاوثورن وآخرون ١٩٩٣ ، ماكدونالد وآخرون ١٩٩٣ Macdonald et al. ، نيلور وآخرون ١٩٩٥ Taylor et al.).

يتكون الموقع X من منشور عكسي ثلاثي ذو تقاسق تساعي-Nine coordinated trigonal antiprism، والذي يقع خلال محور ثلاثي التماثل. يتم شغل هذا الموقع بالصوديوم والكالسيوم وإلى حد ما بالبوتاسيوم، ومن الممكن إلى حد كبير أن يكون شاغراً. يوجد بالصيغة التركيبية للتورمالين عدد ٣١ من الأنيونات التي تشغل ٨ مواقع محددة، وهي من O(1) إلى O(8) (دوناي وبارتون ١٩٧٢ Donnay and Barton). يشغل الأكسجين (O^{2-}) المواقع O(2) و O(4)-O(8). يطلق رمز W على الموقع الفردي O(1) بالصيغة التركيبية والذي يقع في منتصف حلقة سداسية خادعة-Pseudo hexagonal ring من وحدات رباعي الأوجه خلال محور ثلاثي التماثل (شكل ٤-٤ب)، ويحتوي ذلك الموقع على مجموعة الهيدروكسيل OH^- والأكسجين O^{2-} أو الفلورين F^- . ويلاحظ عندما يسود الأكسجين O^{2-} بالموقع W، فإنه يلزم إعادة ترتيب محدود المدى للكاتيونات بالمواقع Y و Z ومن أمثلة ذلك ترتيب الماغنسيوم في الموقع Z والألومنيوم بالموقع Y (هاوثورن وهنري ١٩٩٩). يعد الموقع W فريد في نوعه حيث يشترك الفلورين بذلك الموقع. يطلق رمز الموقع V على الموقع O(3) والذي يحتوي على أيون الهيدروكسيل OH^- ولكنه قد يحتوي أيضاً على كمية ملحوظة من أيون الأكسجين O^{2-} .

تتواجد غالباً الكاتيونات كبيرة الحجم مثل الصوديوم والكالسيوم في الموقع X من البنية البلورية للتورمالين. رغم أن العديد من الأبحاث التي دلت على أن هناك أنواع من التورمالين قد تم تخليقها معملياً ولا تحتوي على مثل هذه الكاتيونات الكبيرة (مثل فويت وروزينبرج ١٩٧٩ Foit and Rozenberg). كما حصل الباحثان أيضاً على أنواع من التورمالين المخلقة والتي تحتوي على ماغنسيوم في الموقع X. وأظهرت بعض



شكل ٤-٤: البنية البلورية للتورمالين: (أ) في إتجاه المحور البلوري "c"، (ب) في إتجاه عمودي على المحور البلوري "c". (هاوثورن وآخرون ١٩٩٣. Hawthorne et al.).

الدراسات أن هناك أنواع من التورمالين خالية من هذه الكاتيونات الكبيرة (Alkali-free tourmaline) التي تسمى أيضاً بالتورمالين ذو موقع X الشاغر . X-site vacant tourmaline .

كيميائية المعدن

تُعدّ معادن التورمالين أكثر أنواع سليكات البورون إنتشاراً والحامل الرئيسي للبورون بالصخور النارية والمتحولة. تُعتبر كمية البورون بالتورمالين نقطة إهتمام للباحثين بعلم المعادن والجيوكيمياء والذين يدرسون سلوك البورون ونظائره بالأنظمة الطبيعية. دلت الدراسات الحديثة لحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction على أن البورون يتواجد بموقع فردي ذو تناسق مع ثلاث ذرات من الأكسجين. من المفترض بشكل عام أن البورون يتواجد بكميات تصل إلى ٣ ذرات لكل وحدة صيغة 3 atom per formula unit ويشغل الموقع B ذو المسطح الثلاثي (شكل ٤-٤). ولكن هناك بعض الدراسات التي أظهرت وجود بعض أنواع من التورمالين تحتوي على كميات أكبر من البورون (ديار وآخرون ١٩٩٤ Dyar et al.). لقد حصل نوفوزهيلوف وآخرون (١٩٦٩) Novozhilov et al. على أدلة باستخدام الرنين الإلكتروني البارامغناطيسي Electron paramagnetic resonance على إحلال البورون محل السيليكون في موقع رباعي الأوجه لمعدن الإلبايت. وقد اقترح سرديوتشينكو (١٩٨٠) Serdyuchenko أن المزيد من البورون لايسكن فقط موقع رباعي الأوجه السيليكاتي ولكن أيضاً الموقع الثلاثي حيث يحل محل مجموعات الهيدروكسيل. ويمكن القول، بشكل عام، أن عملية تجزئة التورمالين لم يتم فهمها بشكل تام. وهذا يرجع إلى ما سبق ذكره وهو الدقة غير الكافية لمعظم الأجهزة المعملية المستخدمة لتحليل الكاتيونات الثلاثية والرباعية. فعلى سبيل المثال لايمكن لجهاز مثل حيود الأشعة السينية لبلورة منفردة Single Crystal X-Ray Diffraction أن يقيس البورون بنسبة أقل من ٠,١% بمواقع رباعي الأوجه السيليكاتي، ولكن يمكن حالياً لجهاز مطياف الكتلة أن يقيس نسبة أعلى للبورون (٣,١-٣,٢%) بمواقع رباعي

الأوجه السيليكاتي (جيدوتي وآخرون ١٩٩٧، Guidotti et al. ، ديار وآخرون ١٩٩٨، Dyar et al.). كذلك الحال للتحاليل الشائعة باستخدام جهاز المسبار الإلكتروني EPMA والتي ينقصها الدقة الكافية لقياس نسبة البورون والليثيوم والحديد المؤكسد بالتورمالين.

من الممكن تواجد الليثيوم Li بكميات قليلة بالتورمالين (جدول ٤-٣) ويرجع ذلك إلى أن الليثيوم يميل بشدة إلى الدخول في تركيب المسكوفيت المتواجد مع التورمالين قبل دخوله في التورمالين (هنري ودوتروف ١٩٩٦، Henry and Dutrow). كما أن للتورمالين محتوى منخفض من الروبيديوم، ولكن على عكس ذلك، محتوى عالي من السترونشيوم وقد جعل هذا من التورمالين أهمية في قياس تركيب نظائر السترونشيوم Sr بأماكن التمعينات الحرمائية (جرايفن وآخرون ١٩٩٦، Griffin et al.، يانج وآخرون ١٩٩٧، Jiang et al.). لا تتوقف أهمية التورمالين في قياس العمر على نظائر السترونشيوم فقط، ولكن للتورمالين أيضاً أهمية في قياس العمر باستخدام نظائر السماريوم- النيوديميوم Sm-Nd. كما يمكن أيضاً استخدام محتوى التورمالين من العناصر الأرضية النادرة REE كدلالات لنشأة الخامات المعدنية (يانج وآخرون ١٩٩٧، Jiang et al.).

يوجد المنجنيز بنسبة كبيرة بالتورمالين حيث تصل نسبة أكسيد المنجنيز MnO إلى ٨,٦٦ % ويعرف هذا النوع باسم تسيليسيت Tsilaisite وقد تم اشتقاق اسمه من جزيرة تسيليزينا Tsilaisina بمدغشقر (شميتزر وبانك ١٩٨٤، Schmetzer and Bank).

يحتوى التورمالين على العديد من العناصر كما هو واضح من الجدول رقم (٤-٣) ولكن هناك بعض أنواع التورمالين التي تحتوى على كميات غير عادية من عنصرى النيكل والكوبالت. وتحتوى أنواع التورمالين التى توجد بالصخور فوق المافية المتحولة على نسبة كبيرة من النيكل والكروميوم (شاليس وآخرون ١٩٩٥، Challis et al.، ميشاليديس وآخرون ١٩٩٨، Michailidis et al.). فمثلاً يحتوى الدرافيت الغنى بالكروميوم (٨,٥%)

جدول ٤-٣: التحليل الكيميائي للتورمالين من مناطق مختلفة.

٥	٤	٣	٢	١	
٣٦,٨٧	٣٦,٤٠	٣٤,٧٣	٣٤,٢٦	٣٥,١١	SiO ₂
--	٠,١٥	٠,١٥	٠,٢٧	٠,٤٩	TiO ₂
١١,١٠	١٠,٦٢	١٠,٢٩	١٠,١٢	١٠,٢٥	B ₂ O ₃
٤٠,٢٣	٣٣,٢٣	٣٣,٨٢	٣٣,٢٧	٣٠,٦٣	Al ₂ O ₃
٠,٩٨	٥,٥٠	١٢,٨٠	١٣,١٢	٨,٨٢	FeO
٠,٣٤	٠,٠٥	٠,١٤	٠,١٩	٠,٢٧	MnO
--	٧,٣٦	١,٨٨	١,٦٣	٦,١١	MgO
٢,٧٨	٠,٣٠	٠,١٠	٠,٠٤	٠,٣٤	CaO
١,٣٥	١,٩٩	١,٨٩	١,٦٨	٢,٤٧	Na ₂ O
--	٠,٠٥	٠,٠٢	--	--	K ₂ O
٢,٣٦	--	--	--	--	LiO ₂
٣,١٦	٣,١٤	٣,٠٧	--	--	H ₂ O
١,٣٣	٠,١٦	٠,٠٦	٠,٠٨	٠,٢٣	F
١٠٠,٤	٩٨,٩٥	٩٨,٩٥	٩٤,٦٦	٩٤,٧٢	المجموع

كاتيونات = ٣١ ذرة أكسجين

٥,٨٣	٥,٩٦	٥,٨٧	٥,٨٨	٥,٩٦	Si
--	٠,١٢	٠,٠٢	٠,٠٤	٠,٠٦	Ti
٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	B
٠,١٧	٠,٠٤	٠,١٣	٠,١٢	٠,٠٥	Al ^{IV}
٧,٣٢	٦,٣٧	٦,٦٠	٦,٦١	٦,٠٨	Al ^{VI}
٠,١٣	٠,٧٥	١,٨١	١,٨٨	١,٢٥	Fe ²⁺
٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٣	٠,٠٤	Mn ²⁺
--	١,٨٠	٠,٤٧	٠,٤٢	١,٥٤	Mg
٠,٤٧	٠,٠٥	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٦	Ca
٠,٤١	٠,٦٣	٠,٦٢	٠,٤٦	٠,٨١	Na
--	٠,٠١	٠,١٠٤	--	--	K
١,٥٠	--	--	--	--	Li
٣,٤٣	٣,٤٣	٣,٤٦	--	--	OH ⁻

١= درافيت من الأرجنتين (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina) (تورن وآخرون ٢٠٠٤ Tourn et al.).

٢= سكورل من الأرجنتين (Eastern Sierras Pampeanas, Argentina) (تورن وآخرون ٢٠٠٤ Tourn et al.).

٣= سكورل من رواسب الذهب لمنطقة بيج بل، أستراليا الغربية (Big Bell, Western Australia) (يانج وآخرون ٢٠٠٢ Jiang et al.).

٤= درافيت من رواسب الذهب لمنطقة بيج بل، أستراليا الغربية (Big Bell, Western Australia) (يانج وآخرون ٢٠٠٢ Jiang et al.).

٥= ليديكواتيت Liddicoatite تورمالين ذو لون أخضر غامق مزرقي من مدغشقر (عن ديرلام وآخرون ٢٠٠٢ Dirlam et al.).

جدول ٤-٣ : تابع

٦	٧	٨	٩	١٠	
٢٧,٤٣	٣٥,٢٨	٣٥,٤٣	٣٦,٢٧	٣٥,٧٢	SiO ₂
---	٠,٠٢	٠,٦٤	٠,٣٤	٠,١٧	TiO ₂
١١,١٨	١٠,٤٥	١٠,٥٤	١٠,٥٥	١٠,٣٥	B ₂ O ₃
٤١,١٨	٣٦,٩٣	٣٣,٥٠	٣٢,٢٧	٣٤,٩٥	Al ₂ O ₃
٠,١٠	٠,١٥	٣,٦٤	٩,٦٨	١٣,٢٠	FeO
٠,١٠	٨,٦٦	٠,١٦	٠,٠٤	٠,٢٩	MnO
---	٠,٠١	٩,٥٣	٥,٣٣	٠,١٠	MgO
٣,٤٦	٠,٠٦	٠,٩٣	٠,٣٧	٠,٠٥	CaO
٠,٩٢	٢,١٣	٢,٣٦	٢,١٨	١,٠٥	Na ₂ O
---	٠,٠١	٠,٠٠	٠,٠٣	٠,٠٣	K ₂ O
٢,٥٧	٠,٥٦	---	٠,٠١	٠,٠٤	LiO ₂
٣,٢٣	٢,٨٨	٣,٦٠	٣,٦٤	٣,٥٧	H ₂ O
١,٣٣	٠,٨١	---	---	---	F
١٠١,٥٠	٩٧,٩٥	١٠٠,٣٣	١٠٠,٧١	٩٩,٤٢	المجموع

كاتيونات= ٣١ ذرة أكسجين

٥,٨٢	٥,٩٣	٥,٧٢	٦,٠٠	٦,٠٧	Si
---	٠,٠٠	٠,٠٨	٠,٠٤	٠,٠٢	Ti
٣,٠٠	٣,٠٣	٣,٠٠	٣,٠٠	٣,٠٠	B
٠,١٨	٠,٠٧	٠,٢٨	٠,٠٠	٠,٠٠	Al ^{IV}
٧,٣٦	٧,٢٤	٦,١٠	٦,٢٩	٦,٩٩	Al ^{VI}
٠,٠١	٠,٠٢	٠,٤٩	١,٣٤	١,٨٨	Fe ²⁺
٠,٠١	١,٢٣	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٤	Mn ²⁺
---	٠,٠٠	٢,٢٩	١,٣٢	٠,٠٠	Mg
٠,٥٨	٠,٠١	٠,١٦	٠,٠٧	٠,٠١	Ca
٠,٢٨	٠,٦٩	٠,٧٤	٠,٧٠	٠,٣٤	Na
---	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠١	K
١,٦١	٠,٣٨	---	٠,٠١	٠,٠٠	Li
٣,٣٥	٣,٦٦	٣,٨٨	٤,٠٠	٤,٠٠	OH ⁻

٦= ليديكواتيت Liddicoatite تورمالين عديم اللون من مدغشقر (ديرلام وآخرون ٢٠٠٢ Dirlam et al.).

٧= تورمالين غني بالمنجنيز من النمسا (إرتل وآخرون ٢٠٠٣ Ertl et al.).

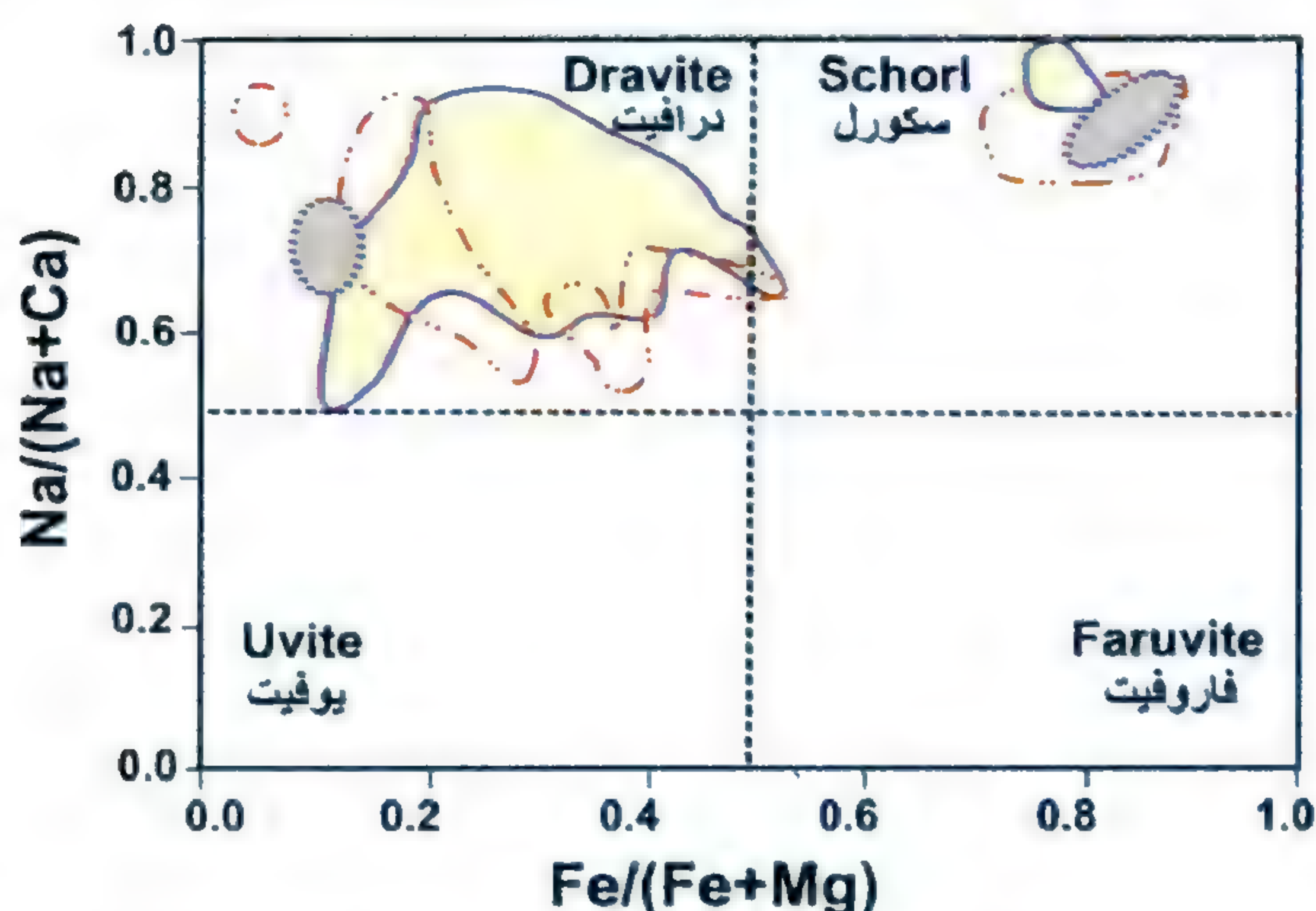
٨= تورمالين من شبيست الميكا لمنطقة سكييت، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (حراز والشرقاوي ٢٠٠١).

٩= تورمالين من صخور التورمالينيت (رسوبيات متحولة وعروق من الكوارتز المحتوية على التورمالين) لمنطقة أروناتا إينلاير بأستراليا (Arunta Inlier, central Australia) (ريس وآخرون ٢٠٠٤ Raith et al.).

١٠= تورمالين من صخور الجرانيت لمنطقة أروناتا إينلاير بأستراليا (Arunta Inlier, central Australia) (ريس وآخرون ٢٠٠٤ Raith et al.).

أكسيد الكروميوم)، والمتواجد بصخور جيرية مجاورة للسربنتينيت على نسبة عالية من النيكل (٠,٧٥% من أكسيد النيكل) (هنري ودوتروف ١٩٩٦ Henry and Dutrow). وعلى الجانب الآخر فإن نسبة الكوبالت بالتورمالين تكون منخفضة حيث تصل أقصى قيمة مسجلة ٤٥ جزء من المليون في الإلبايت (هنري ودوتروف ١٩٩٦). وقد تمكن تويلور وتيريل Taylor and Terrell عام (١٩٦٧) من تخليق أنواع من التورمالين الغنى بالنيكل ذو لون أخضر شاحب ونوع آخر من التورمالين الغنى بالكوبالت ذو لون وردي- بنفسجي. وحديثاً، تمكن جوردانت وروبرت (١٩٩٧) Gourdant and Robert من تخليق سلسلة كاملة من محلول صلب بين الدرافيت والدرافيت الغنى بالنيكل Ni-dravite وبين الفويتيت والفويتيت الغنى بالنيكل Ni-foitite. يميل النيكل إلى التواجد بالموقع ثمانى الأوجه بالبنية البلورية للتورمالين Y على شكل $3Ni^{2+}$ (جوردانت وروبرت ١٩٩٧). تعكس هذه الدراسات مدى تقارب نصف القطر الأيوني لكل من أيوني النيكل (٠,٧٧ أنجستروم) والماغنسيوم (٠,٨ أنجستروم). كما يحتوى التورمالين أيضاً على كميات ثانوية من الزنك حيث تصل نسبة أكسيد الزنك إلى ١ نسبة وزنية (1 wt%) (فيدريكو وآخرون ١٩٩٨ Federico et al.). علاوة على ذلك فقد تم تسجيل أنواع من التورمالين المتواجده مع السفاليريت برواسب الكبريتيدات حيث تحتوى على نسب عالية من الزنك (سلاك وآخرون ١٩٩٩ Slack et al.).

يمكن التعرف على نوع التورمالين اعتماداً على محتوى الحديد والماغنسيوم والكالسيوم كما هو واضح من الشكل رقم (٤-٥) (عن هنري وجيدوتي ١٩٨٥ Henry and Guidotti). يظهر هذا الشكل أن معظم أنواع التورمالين في المناطق المختلفة من العالم تتكون من معدني الدرافيت والسكورل. يوضح الشكل رقم (٤-٦) أن معادن التورمالين تنتشر بالصخور الجرانيتية الفقيرة في الليثيوم وما يصاحبها من بيجماتيت وأبليت وكذلك توجد في صخور الميتابيليت والميتابساميت، والصخور المافية وفوق المافية.



○ تورمالين من رواسب الذهب بمنطقتي بج بيل Big Bell وجيبسون Gibson بأستراليا الغربية (يانج وآخرون ٢٠٠٢, Jiang et al.).

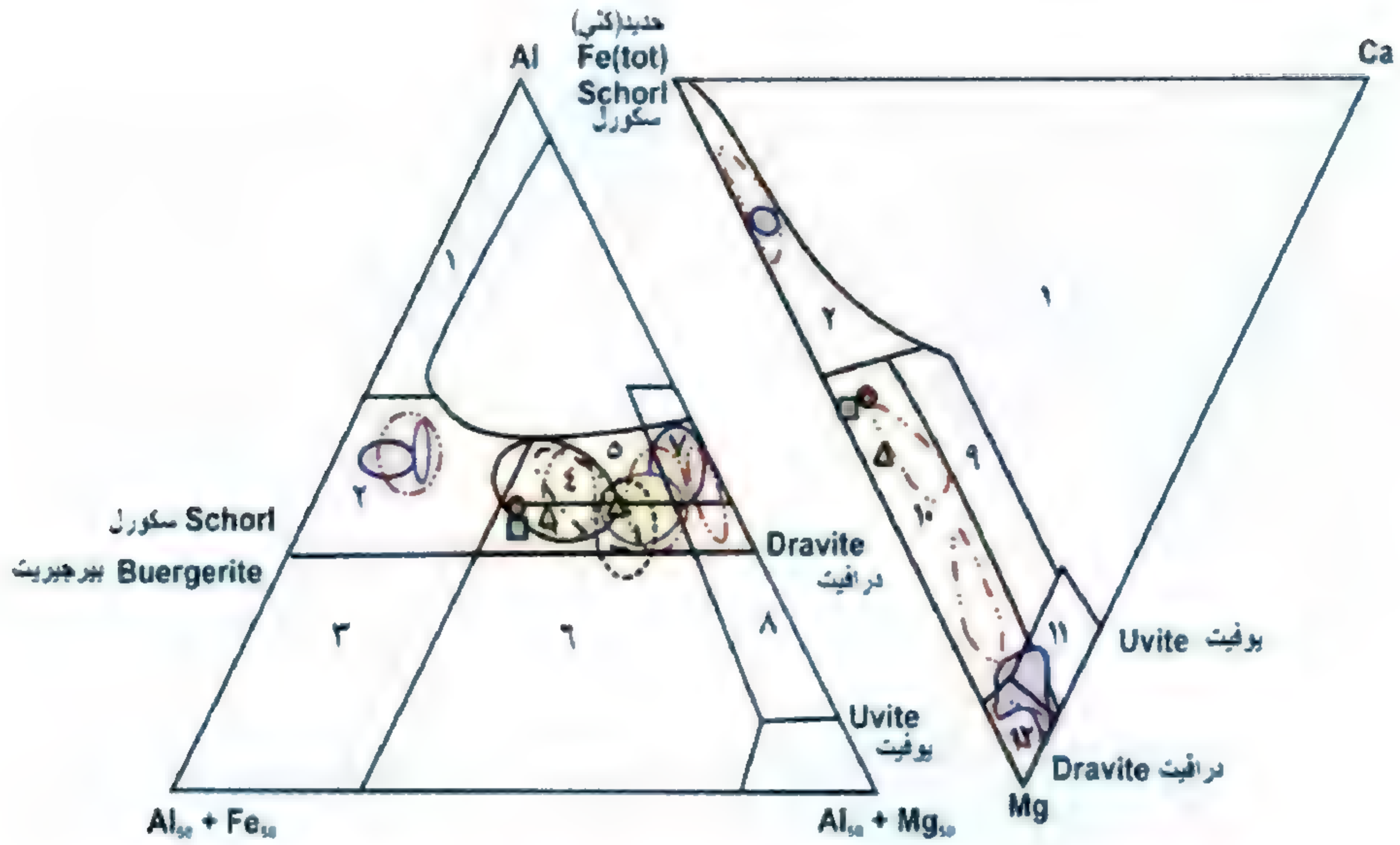
⋯ تورمالين من منطقة سكيت، الصحراء الشرقية، مصر (حراز وآخرون ١٩٩٩).

⦿ تورمالين من رواسب داشانج Dachang، الصين (يانج وآخرون ١٩٩٩, Jiang et al.).

شكل ٤-٥: مخطط حديد Fe \ (حديد Fe + ماغنسيوم Mg) مقابل صوديوم Na \ (صوديوم Na + كالسيوم Ca) لأنواع مختلفة من التورمالين من بعض الأماكن بالعالم.

الصفات الفيزيائية والبصرية

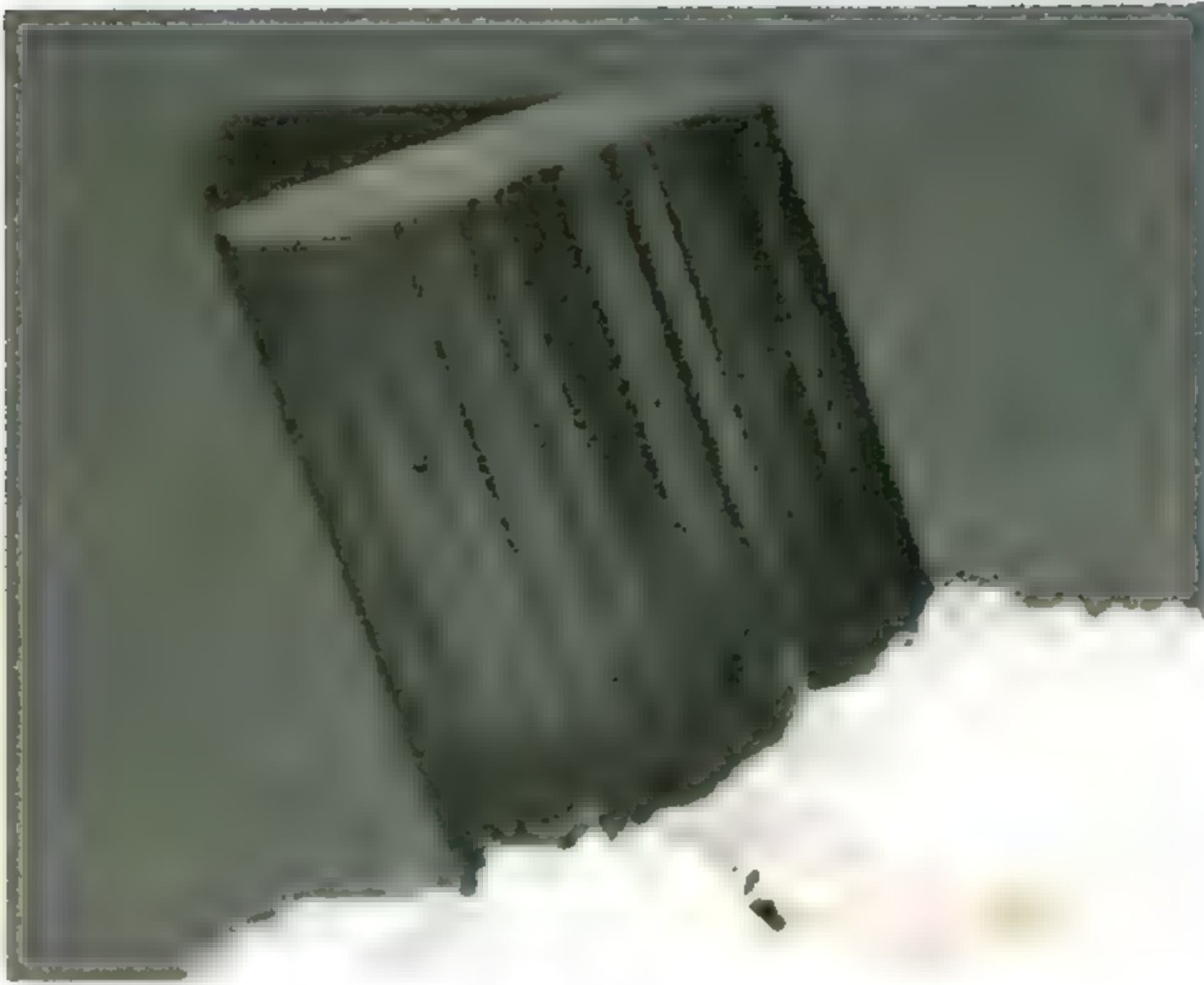
تختلف أنواع التورمالين إلى حد كبير في اللون: يتميز اليوفيت باللون الأخضر وقد يكون عديم اللون أو ذو لون أبيض أو بني فاتح أو أسود، بينما يتميز السكورل باللون الرصاصي أو الأسود ويتراوح لون الإلبايت بين أحمر أو وردي أو أخضر أو أزرق أو برتقالي أو أصفر (شكل ٤-٧). يتدرج لون الدرافيت من الأصفر والبني الفاتح إلى البني الغامق، أما البيرجيريت فهو ذو لون بني غامق. يظهر معدن الليديكوأيت Liddicoatite مدى واسع من الألوان وخصوصاً في الأنواع ذات النطق المعقدة ذات الترتيب الموازي للأوجه الهرمية (شكل ٤-٨). يتراوح اللون من أحمر إلى أحمر بنفسجي متدرجاً إلى الوردي والأصفر الوردي وهناك أيضاً تدرج للون من بنفسجي إلى عديم اللون، كما يوجد أيضاً باللون الأخضر والبني والأزرق الشاحب والأصفر. البريق زجاجي وخصوصاً على أسطح الكسر.



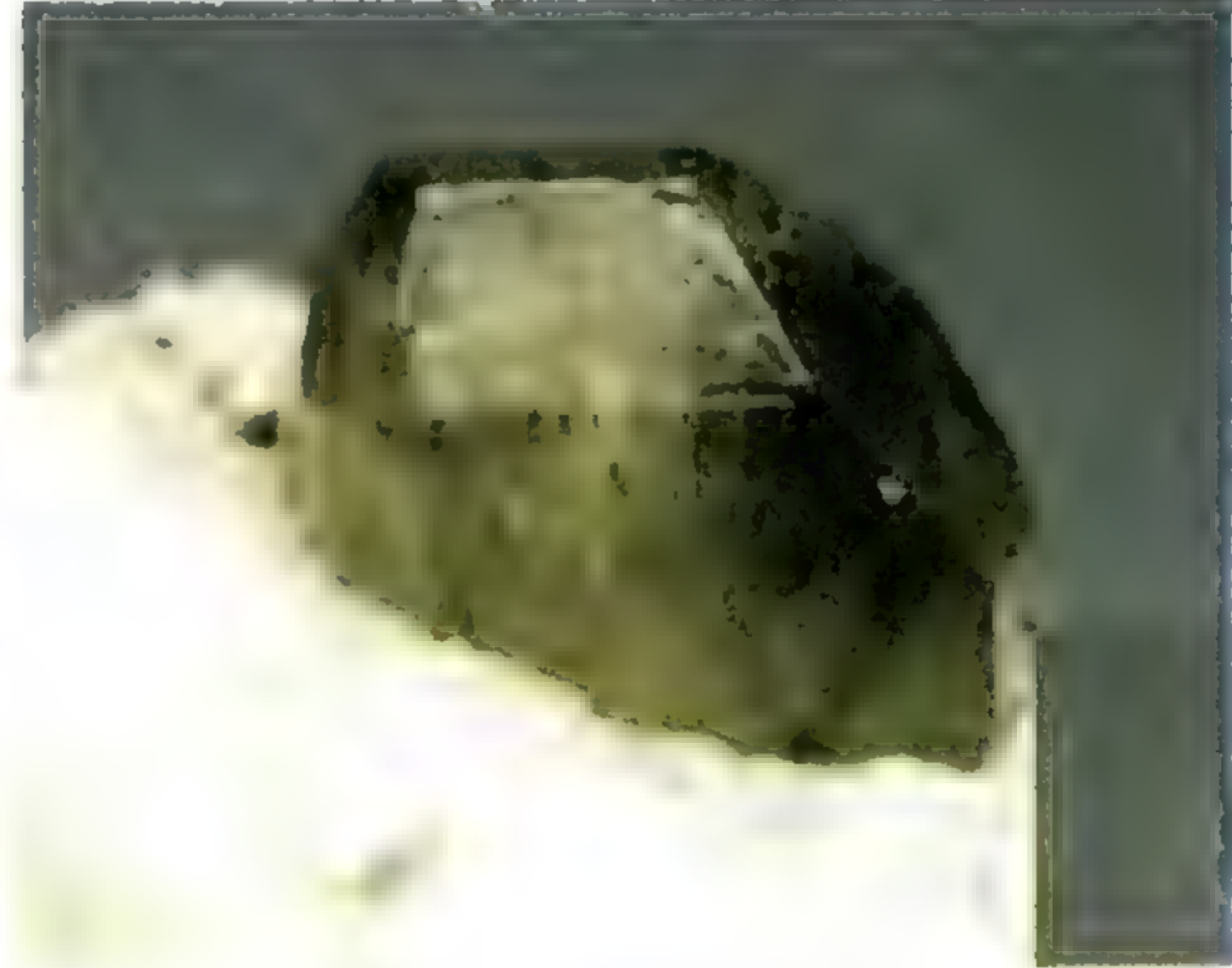
- تورمالين من أجوا دي رامون Agua de Ramon، الأرجنتين (تورن وآخرين ٢٠٠٣ Tourn et al.)
- تورمالين من أمبوي Ambui، الأرجنتين (تورن وآخرين ٢٠٠٣ Tourn et al.)
- △ تورمالين من بامبادي تامبوريو Pampa de Tamboreo، الأرجنتين (تورن وآخرين ٢٠٠٣ Tourn et al.)
- تورمالين من رواسب الهندوكوش Hindu Kush، باكستان (لييك وآخرين ١٩٨٩ Leake et al.)
- تورمالين من رواسب الألب النمساوي Austroalpine، النمسا (عن ريث ١٩٨٨ Raith)
- تورمالين من ستور مايني Store Maieri، غرب جرينلاند (عن ابل وجريد ١٩٨٧ Appel And Garde)
- تورمالين من رواسب الذهب بمنطقة بيج بيل Big Bell باستراليا الغربية (عن باتج وآخرين ٢٠٠٢ Jiang et al.)
- تورمالين من منطقة سكيت، الصحراء الشرقية، مصر (عن حراز والشرقاوي ٢٠٠١)

شكل ٤-٦: مخطط ألومنيوم-Al-حديد-Fe+ألومنيوم-Al-ماغنسيوم-Mg+ألومنيوم-Al، و كالسيوم-Ca-حديد-Fe-ماغنسيوم-Mg للتركيب الكيميائي للتورمالين من مناطق مختلفة من العالم (جدول رقم ٤-٣). الأرقام ١-١٢ عن هنري وجيدوتي (١٩٨٥) Henry & Guidotti.

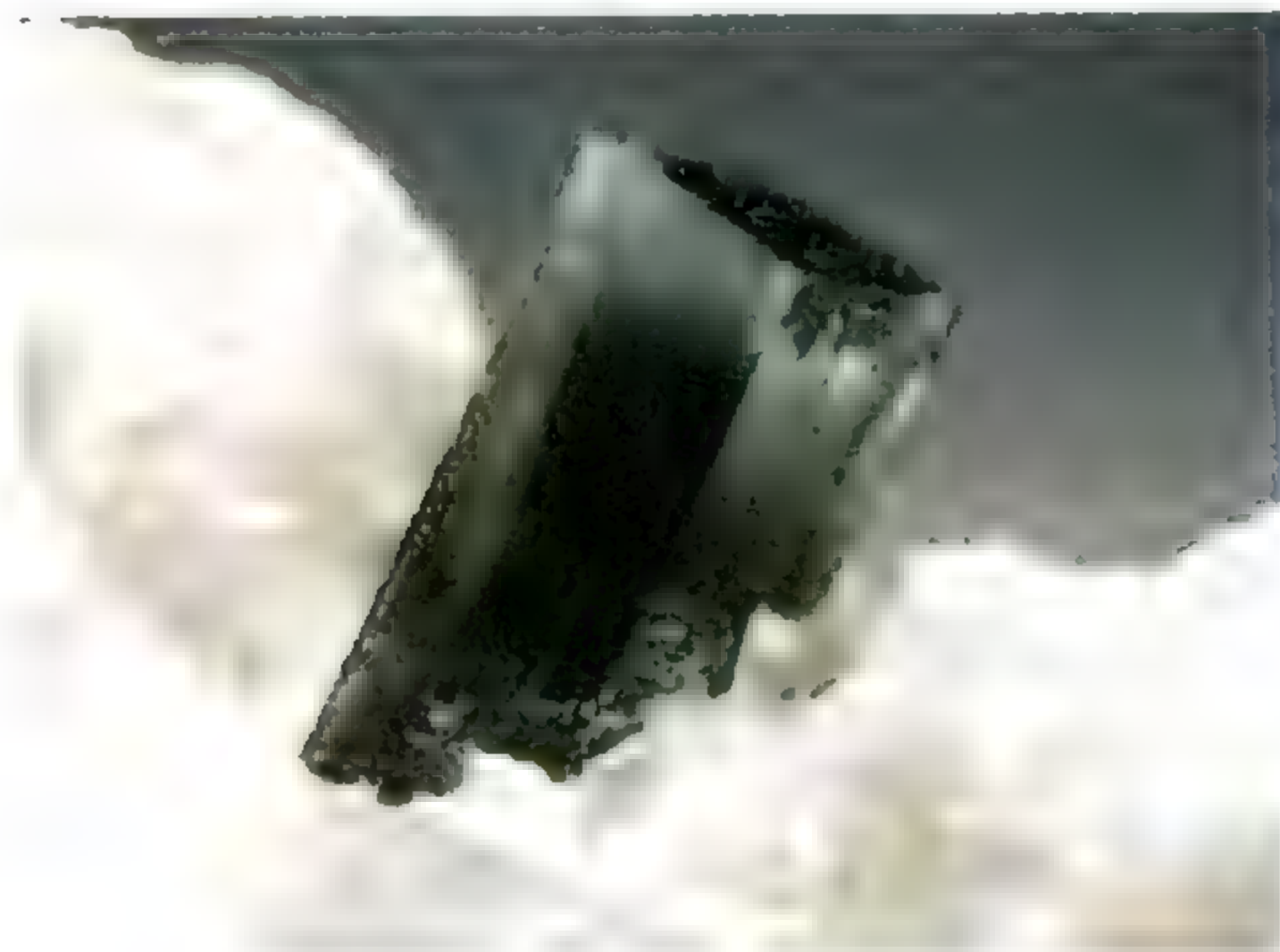
١ = جرانيتات غنية بالليثيوم Li وما يصاحبها من بيجماتيت وابلت، ٢ = جرانيتات فقيرة في الليثيوم Li وما يصاحبها من بيجماتيت وابلت، ٣ = صخور كوارتز-تورمالين غنية بالحديد Fe^{3+} (جرانيتات مجواه بفعل المحاليل الحرمانية)، ٤ = ميتابيليت وميتابساميت متواجدة مع اصناف مشبعة بالألومنيوم، ٥ = ميتابيليت وميتابساميت غير متواجدة مع اصناف مشبعة بالألومنيوم، ٦ = صخور كوارتز-تورمالين غنية بالحديد Fe^{3+} ، صخور سيليكات جيرية وميتابيليت، ٧ = صخور مافية ذات محتوى منخفض من الكالسيوم وصخور رسوبية متحولة غنية بالكروميوم والفانديوم، ٨ = صخور كربونات متحولة وصخور بيروكسينيت متحولة، ٩ = ميتابيليت غني بالكالسيوم وميتابساميت وصخور سيليكات جيرية، ١٠ = ميتابيليت فقير في الكالسيوم وصخور كوارتز-تورمالين، ١١ = صخور كربونات متحولة، ١٢ = صخور فوق مافية متحولة.



سكورل رصاصي اللون Schorl



درافيت أصفر اللون Dravite



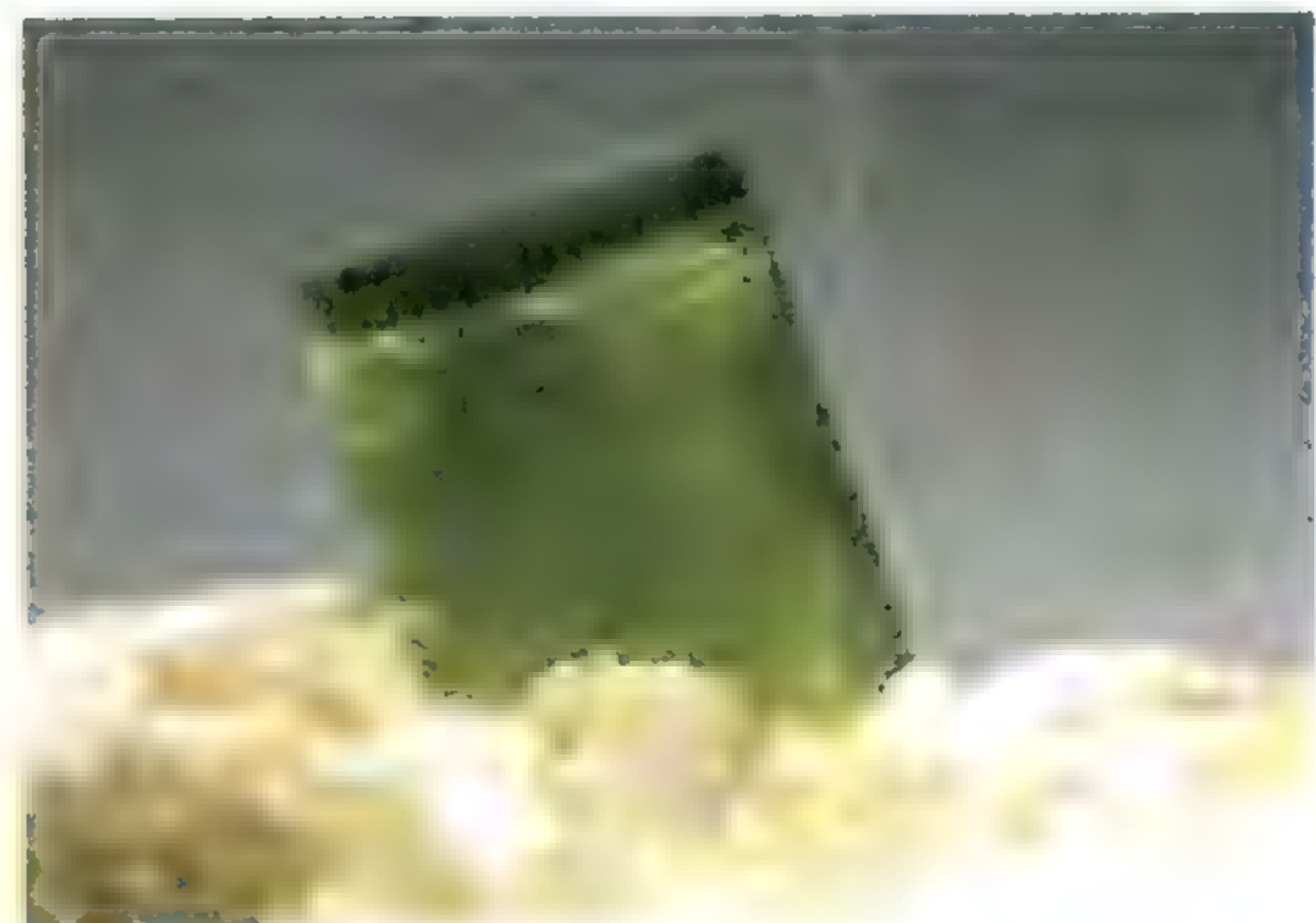
إلبايت أخضر غامق Elbaite



إلبايت متعدد اللون Elbaite



إلبايت أحمر Elbaite



إلبايت أخضر اللون Elbaite

شكل ٤-٧ : بلورات لبعض أنواع التورمالين ذات ألوان مختلفة.



شكل ٤-٨ : النطق اللونية لبلورة
تورمالين من منطقة انجانابونونيا
Anganabonoina بمدغشقر (دونا
وأخريين ٢٠٠٢. Dona et al.)

المخدش أبيض. تتراوح الشفافية في هذه المجموعة بين شفافة إلى معتمة في البلورات ذات اللون الأسود الغامق.

الصلادة = ٧-٧,٥. يتراوح الوزن النوعي بين ٣ إلى ٣,٢ وذلك اعتماداً على التركيب الكيميائي. المكسر غير مستوي أو محاري. الشكل البلوري عبارة عن منشور ذو ثلاثة جوانب ممتدة، وأحياناً ممكن أن توجد البلورة على شكل منشور ذو ستة جوانب (معدن الإلبايت) أو على هيئة بلورات ذات شكل مجدول (معدن اليوفيت). ومن أهم الخصائص التي تميز معادن التورمالين خاصية الكهرباء الحرارية

Pyroelectricity حيث تتكون على الأطراف المختلفة لبلورة المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتسخينه مما يعكس التماثل الأدنى لمعادن التورمالين التي لها طرفان مختلفان نتيجة عدم وجود مستوى تماثل بينهما، وبلورة التورمالين طرفان إحداهما حاد الزاوية والآخر منفرج الزاوية، وعند تعرض البلورة للتسخين يتولد عند الطرف الحاد الزاوية شحنة كهربائية موجبة، بينما عند الطرف المنفرج الزاوية شحنة كهربائية سالبة (بمعنى بلورة + حرارة ← توليد شحنة). تجعل هذه الخاصية للتورمالين أهمية إستراتيجية حيث أنه يستعمل في قياس درجة حرارة القنابل والمتفجرات. ومن الخواص المميزة أيضاً لمعادن التورمالين خاصية الكهرباء الضغطية Piezoelectricity وهي الخاصية التي تتكون بموجبها على أطراف المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتعرضه للضغط (بمعنى بلورة + ضغط ← توليد شحنة). وأهم الصفات التي يمكن بها التعرف على التورمالين بالحقل هي: الهيئة البلورية والمقطع الثلاثي واللون والصلادة.

يعد التورمالين من المعادن المستقرة على مدى واسع من الحرارة (تصل إلى ظروف سحنة الجرانوليت) وضغط يصل إلى أكثر من ٦٠ كيلوبار ويعتمد مدى ثبات التورمالين على تركيب الصنف المائع الذي يتفاعل معه. ممكن أن يكون مصدر هذا المائع الصخر نفسه المحتوى على التورمالين أو أى مصدر خارجي. وبشكل عام يصبح التورمالين أقل ثباتاً عندما تصبح هذه الموائع قاعدية. ويعود عدم ثبات التورمالين إلى نشاط الأيونات المتوفرة بهذه الموائع مثل: أيون البورون B^{3+} والصوديوم Na^{+} والحديد الثنائي Fe^{2+} والحديد الثلاثي Fe^{3+} والماغنسيوم Mg^{2+} والألومنيوم Al^{3+} (مورجان ولندن ١٩٨٩ Morgan and London، دوتروف وآخرون ١٩٩٩ Dutrow et al.، لندن ١٩٩٩ London).

يوضح شكل (٤-٩، ب) معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج Refractive indices and Birefringence والوزن النوعي لعدد من بلورات معادن التورمالين التي تم تحليلها بواسطة دير وآخرون (١٩٦٦) Deer et al. مقابل عدد أيونات الحديد الثنائي + الحديد الثلاثي + المنجنيز $Fe^{+2} + Fe^{+3} + Mn$. يوضح الشكل أن محتوى المنجنيز والحديد بالتورمالين له دور كبير في معاملات الانكسار والوزن النوعي، حيث تزداد قرينة الانكسار المزدوج بزيادة محتوى الحديد. التغير اللوني Pleochroism في المعدن مميز ويتراوح بين أسود وبني وأخضر وأزرق وأصفر وأحمر أو وردي وعادة ما يخفى لون المعدن وبخاصة الداكن منه ظاهرة التغير اللوني. المقطع العرضي سداسي كاذب Pseudohexagonal إلى ثلاثي. التورمالين معدن أحادي المحور سالب، حيث معاملات الانكسار $(\omega) = 1.645 - 1.670$ و $(\epsilon) = 1.625 - 1.640$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.020 - 0.030$.

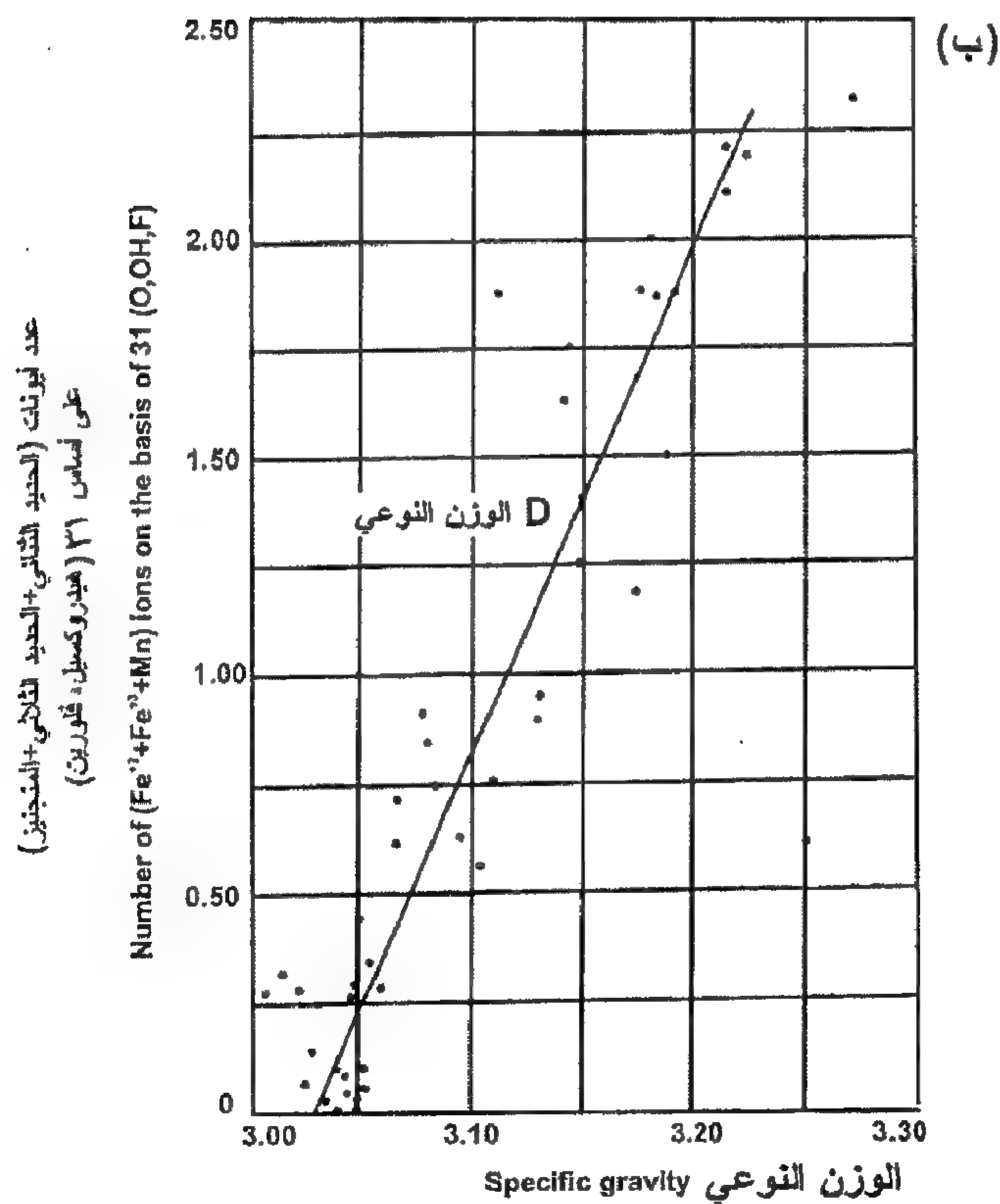
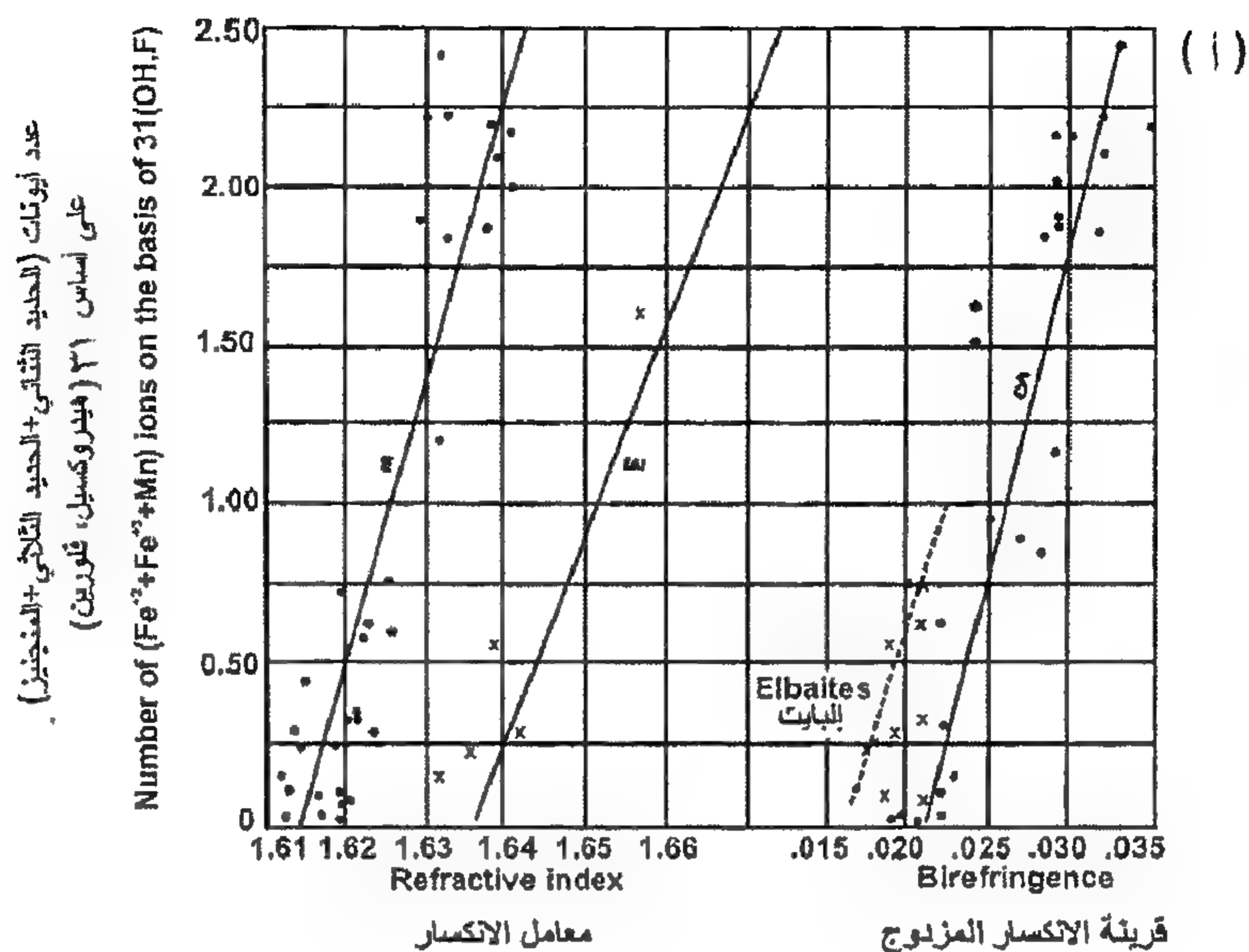
التواجدات والصحية المعدنية

يسمح المدى الواسع لثبات التورمالين بتواجده في بيئات جيولوجية مختلفة. يتواجد التورمالين بالصخور المتحولة كأنواع وتركيب مختلف تحت ظروف ودرجات تحول مختلفة. رغم أن التورمالين يتواجد بنسب محدودة

من ضمن محتويات الصخور، إلا أن الصخور الغنية بالتورمالين يطلق عليها اسم تورمالينيت Tourmalinites، وتحتوى هذه الصخور على نسبة من التورمالين تتراوح بين ١٥-٢٠% من نسبة الحجم الكلي للصخر (نيكولسون ١٩٨٠، Nicholson، سلاك وأخرون ١٩٨٤، Slack et al.). لقد تم التعرف على التورمالينيت فى بيئات جيولوجية مختلفة وخصوصاً بالجرانيت المتعرض لعمليات تحول سائلي Metasomatism وتتابعات الصخور الرسوبية المتحولة (جاربا ١٩٩٦، Garba، سلاك ١٩٩٦، Slack).

يساعد التغير فى التركيب الكيميائي للتورمالين فى التعرف على المتغيرات الكيميائية والفيزيائية التي تسود أثناء تكون الصخر الحاوي عليه. كما أن مقاومة التورمالين للتجوية الكيميائية تجعل له القدرة على الإحتفاظ ببصمات كيميائية متعددة لدور المحاليل الحرمائية والأحداث التحولية.

يتواجد التورمالين فى أنواع معينة من البيجماتيت الجرانيتى وفي الصخور الرسوبية والبركانية المعرضة للتجوية من جراء فعل المحاليل الحرمائية وعروق الكوارتز المتكونة بفعل المحاليل الحرمائية. كما تصاحب الصخور الغنية بالتورمالين أنواع مختلفة من رواسب الخامات والتي تشمل عروق وجرايزن Greisen وسكارن ذات العلاقة بصخور الجرانيت وكذلك أنابيب البريشيا والرواسب البورفيرية والتي تعتبر مصدر إقتصادى للقصدير Sn والتنجستين W والموليبدنيم Mo والذهب Au والنحاس Cu والفلزات القاعدية Base metals، وعلى عكس ذلك فإن التورمالينيت، والذي يحتوى على تورمالين ما بين ١٥-٢٠% من الحجم الكلي للصخر، له نشأة مختلفة ولا علاقة له بالصخور الجرانيتية. تصاحب بعض من تمعدنات التورمالين المعادن الفلزية الطباقية أو المحصور بين الطبقات Stratiform to Stratabound ورواسب التنجستين Tungsten (سلاك ١٩٩٦، Slack).



شكل ٩-٤: (أ) الصفات البصرية، (ب) الوزن النوعي للتورمالين نسبة إلى عدد الأيونات (الحديد الثنائي Fe^{+2} + الحديد الثلاثي Fe^{+3} + المنجنيز Mn) على أساس ٣١ هيدروكسيل OH وفلورين F (دير وآخرون ١٩٨٩).

في البيئات التي تتميز بالنشأة التحوالية المتأخرة Diagenetic and epigenetic، ينمو التورمالين حول نواة التبلور بمعدلات عالية باتجاه المحور البلوري الموجب "c". يُظهر التورمالين الذي ينشأ في بيئات ذات درجة تحول منخفضة إلى متوسطة نوع من عدم التماثل في التركيب بحيث يكون هناك إختلاف ملحوظ في تركيب التورمالين بين طرفي المحور البلوري الموجب والسالب (هنري وآخرون ١٩٩٩ Henry et al.). يطلق على هذا النوع من عدم التماثل التركيبي اسم القطبية التركيبية Compositional polarity، والذي يعكس بدوره النطاقية الكيميائية بالتورمالين حيث يتميز كل نطاق بتركيب كيميائي مختلف. تتمثل المعادن المصاحبة للتورمالين في الأباتيت والإسفين والزركون والكوارتز والفلسبار والميكا والبيريل والجارنت والتوباز.

الاستخدامات

يعد التورمالين من المعادن الهامة، ليس فقط لكونه معدن جذاب أو شبه حجر كريم، ولكنه يعطى معلومات ذات قيمة عن التاريخ الحراري وتاريخ نشاط المحاليل على الصخور التي نشأ بها. يستخدم أيضاً في صناعة الإلكترونيات لما له من خاصية الكهربائية الحرارية والكهربائية الضغطية. هاتين الخاصيتين، علاوة على الثبات الكيميائي العالي، أدت إلى سهولة استخدامه كمحول Transducers لقياس الضغط الهيدروستاتيكي وفي أجهزة قياس العمق وفي الأجهزة التي تستخدم للتعرف على العوائق تحت المياه. كذلك للتورمالين أهمية في الدراسات البترولوجية والتمعدنية وذلك لثباته على مدى واسع من الضغط والحرارة.

البيريل Beryl



البيريل عبارة عن مجموعة من المعادن والتي تشتمل على الزمرد Emerald والأكوامارين Aquamarine والهيليدور Heliodor

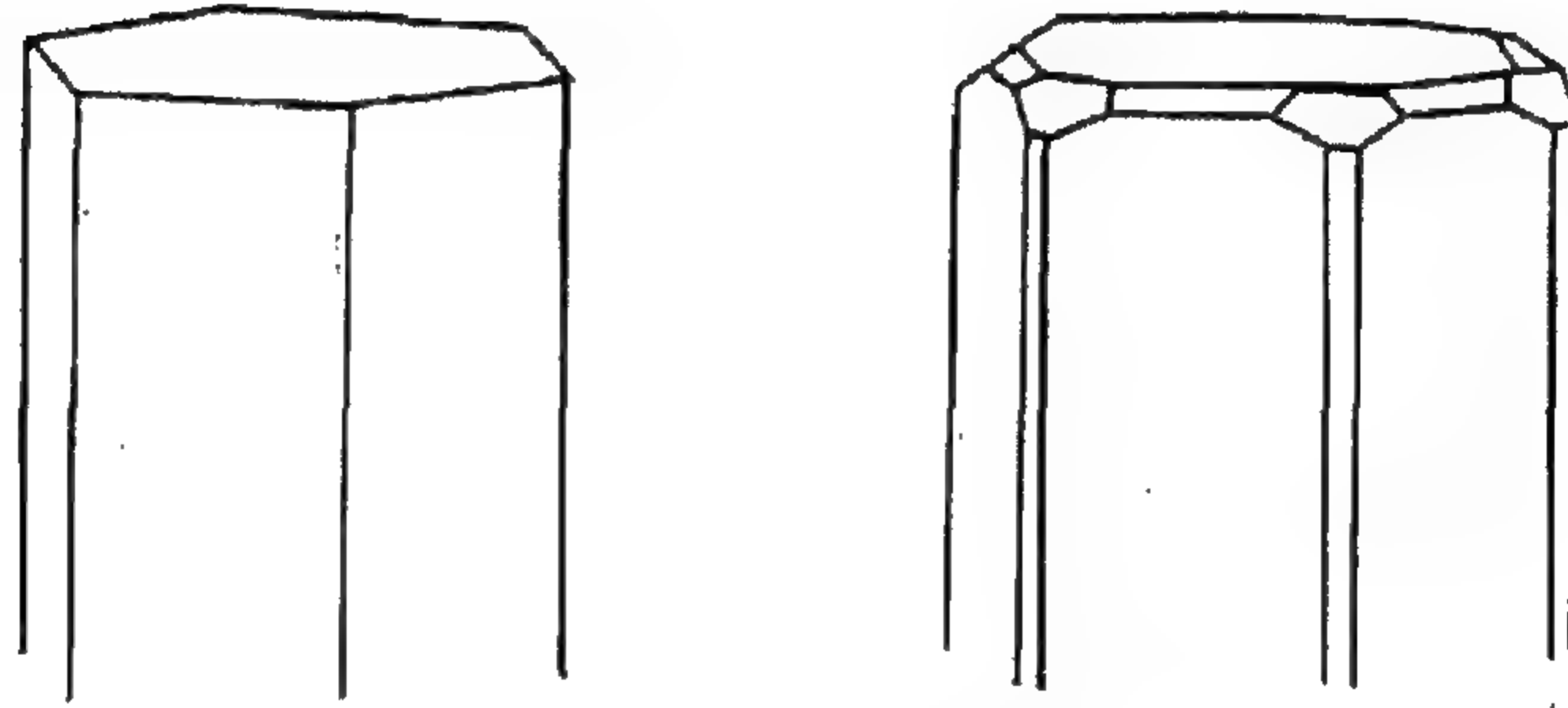
والمورجانيت Morganite والجوشينايت والبيريل الأحمر. تم اشتقاق اسم البيريل من الكلمة الإغريقية *Beryllos* والتي تعنى "حجر كريم أزرق-أخضر". هناك العديد من الألوان لمجموعة معادن البيريل ويعود ذلك بالدرجة الأولى إلى محتواها من العناصر الشحيحة.

البنية البلورية

يتبلور البيريل بفصيلة السداسي حيث أن: $a = 9.23$ ، $c = 9.19$ أنجستروم ومجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 2$ ؛ مجموعة النقطة $6/m2/m2/m$ والمجموعة الفراغية $p6/m2/c2$. تتبلور مجموعة معادن البيريل على شكل منشور سداسي منتهى بمسطوح قاعدى Basal pinacoid (شكل ٤-١٠)، غالباً ما يحاط المسطوح القاعدى بالعديد من الأوجه الهرمية المختلفة والتي يمكن أحياناً أن تظهر نهاية مستديرة. الهيئة البلورية عادةً ما تكون منشورية أو مستطيلة أو مسطحة Flattened، وغالباً ما تظهر تخطيط Striation وتحزز Grooves، وتظهر بعض البلورات درجات متفاوتة من التآكل Etching.

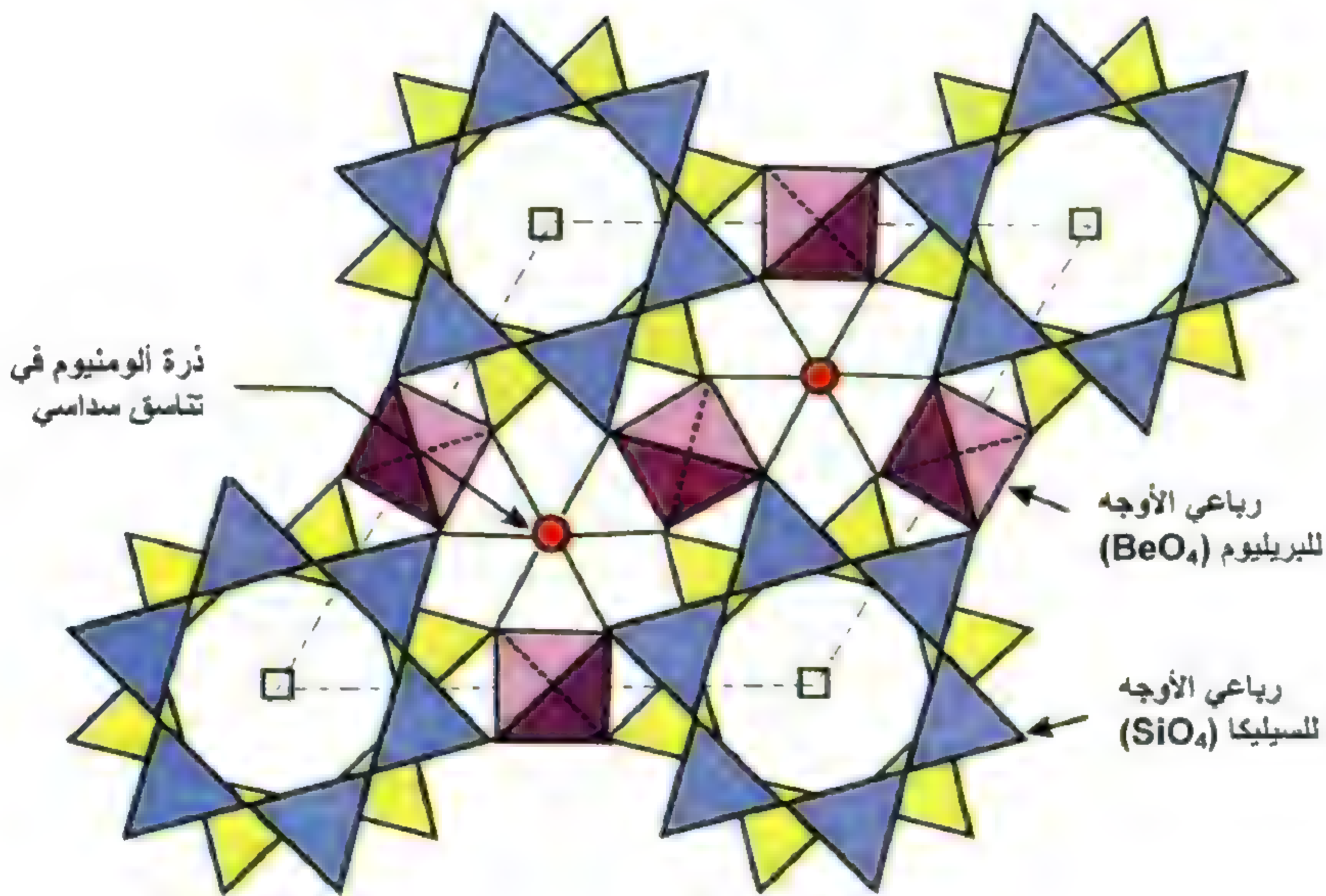
يتكون البيريل من سيليكات البيريليوم والألومنيوم $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ ويتميز بوجود قنوات سداسية خالية والتي يمكن شغلها بالعناصر القلوية مثل الليثيوم Li والصوديوم والروبيديوم أو بجزئيات متعادلة مثل الماء أو ثانى أكسيد الكربون. تنشأ هذه القنوات من خلال الوحدات الحلقية $(Si-O)_6$ التي تلتصق ببعضها تاركة فراغات تعمل كممرات للمياه والشوائب الأخرى. من أكثر العناصر تأثيراً على لون البيريل هي شوائب الحديد والتي تتواجد فى مواقع القنوات البينية أو تحل محل الألومنيوم فى المواقع ثمانية الأوجه. وينتج اللون الأصفر فى الهيليودور من وجود أيون الحديد الثلاثى Fe^{3+} بالموقع ثمانى الأوجه والذي يحل محل الألومنيوم. وعلى الجانب الآخر عندما يتواجد الحديد كأيون ثنائى Fe^{2+} بمواقع القنوات البينية فإنه يكسب البيريل اللون الأزرق المخضر (الأكوامارين) ومن العمليات التجارية الشائعة اليوم هي تسخين أنواع البيريل ذات الألوان المتعددة (أصفر أو أخضر) إلى

درجة حرارة تصل إلى ٣٠٠ درجة مئوية مما يؤدي إلى إختزال الحديد الثلاثي Fe^{3+} ويؤدي ذلك إلى تقليل اللون الأصفر والأخضر ويصبح البيريل بلون أزرق نقي. كما يمكن إستعادة اللون الأصفر والأخضر إلى البيريل من خلال تعرضه إلى الأشعة السينية.



شكل ١٠-٤: بعض من الأشكال البلورية المميزة لمعدن البيريل.

يوضح شكل (١١-٤) خلية الوحدة للبيريل حيث يتواجد رباعي الأوجه السيليكاتي ذو اللون الأزرق بالطبقة العليا، بينما تتواجد وحدات رباعي



شكل ١١-٤: البنية البلورية لمعدن البيريل.

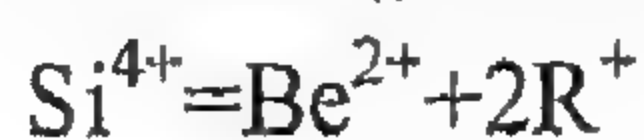
الأوجه السيليكاتي ذات اللون الأصفر بالطبقة السفلى. تحتوي رباعيات الأوجه ذات اللون الأرجواني Purple على البيريليوم Be وتقوم بربط الأركان السفلية لرباعيات الأوجه بالحلقة العليا بالأركان العليا لرباعيات الأوجه بالحلقة السفلى. وتمثل الدائرتان ذاتا اللون الأحمر ذرتي الألومنيوم.

تتكون البنية البلورية لمعادن البيريل (شكل ٤-١٢) (عن جيبس وآخرون ١٩٦٨. Gibbs et al. وموروسين ١٩٧٢ Morosin) من عدد ستة وحدات من رباعي الأوجه السيليكاتي متصلة ببعضها على شكل حلقات سداسية (Si_6O_8) في مستوى أفقي عمودي على المحور الرأسي "C". يتم الربط بين هذه الحلقات من خلال وحدات رباعي الأوجه المحتوية على البيريليوم ووحدات ثمانية الأوجه المحتوية على الألومنيوم ليتكون شكل شبكي، حيث أن البيريليوم ذو تناسق رباعي 4-fold tetrahedral coordination والألومنيوم ذو تناسق سداسي 6-fold tetrahedral coordination.

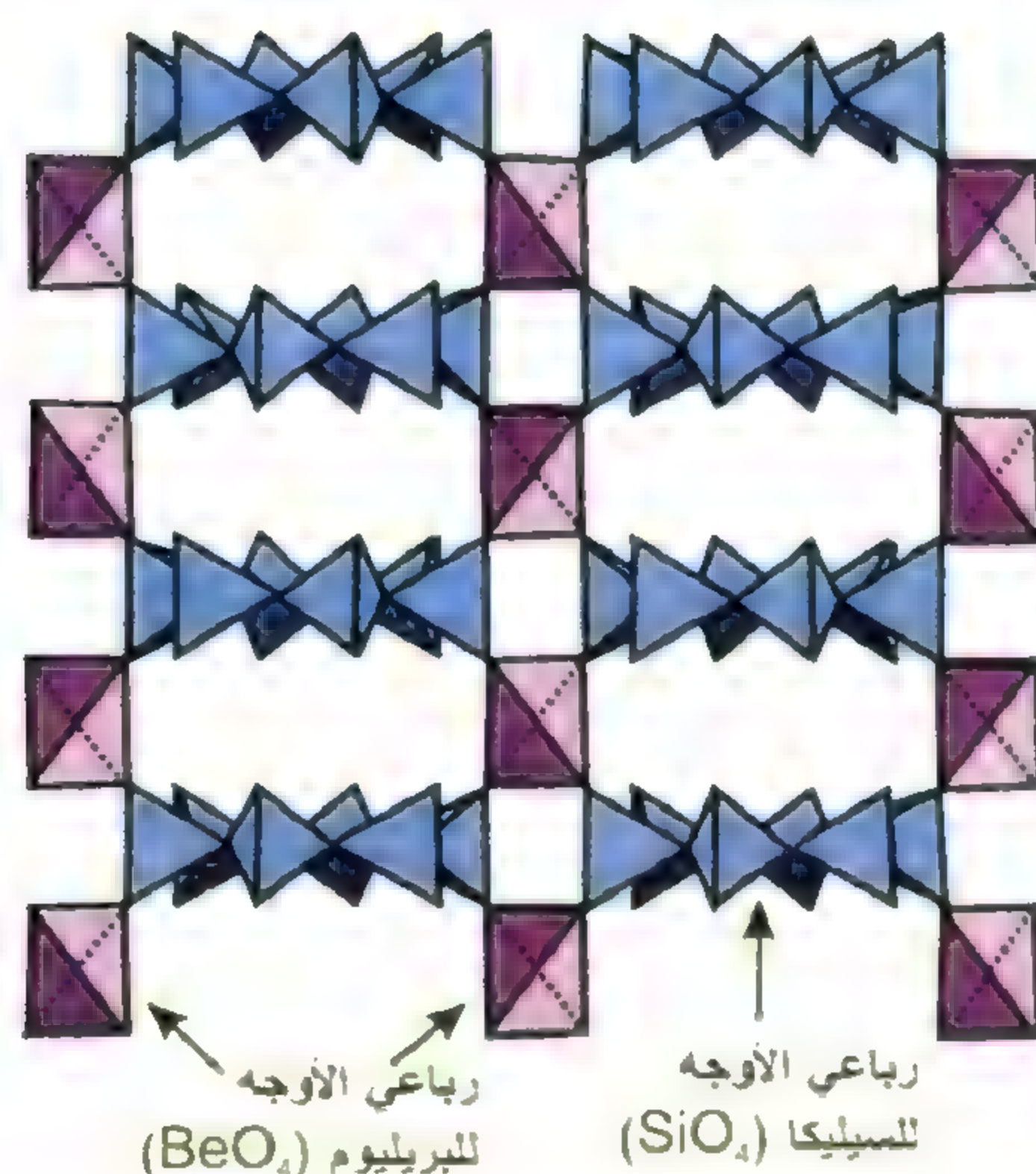
تقوم رباعيات الأوجه بتوصيل حلقات Si_6O_{18} وتستمر في نفس الاتجاه موازية المحور الرأسي "C" تاركة فراغات تعمل كقنوات (شكل ٤-١٢). ممكن أن تستضيف هذه القنوات العديد من الكاتيونات الكبيرة (مثل كاتيونات الروبيديوم والسيزيوم والصوديوم والبوتاسيوم) وأنيونات (مثل الكلورين والفلورين والهيدروكسيل) والجزيئات مثل الماء H_2O والمواد العضوية. تتواجد الأيونات القلوية عادةً من أجل إحداث إتران بتعويض النقص في الشحنات الموجبة الناتجة من إحلال الألومنيوم للبيريليوم بواسطة كاتيونات ذات تكافؤ أقل مثل الحديد الثنائي والمنجنيز والليثيوم الخ.

رغم أن هناك إتفاق بين العلماء على حدوث إحلال للكاتيونات ثنائية التكافؤ محل الألومنيوم بالمواقع ثمانية الأوجه والليثيوم للبيريليوم بالمواقع رباعية الأوجه ، فإن هناك إتجاه بأنه يتم أيضاً إحلال بين الألومنيوم والليثيوم Al-Li substitution بالمواقع ثمانية الأوجه (بياس ١٩٦٠ Beus ، إيفانز ومروس ١٩٦٨ Evans and Mrose). يعتبر البيريل أحد النماذج الواضحة للدلالة على ظاهرة الإحلال البيني Interstitial substitution حيث وجد

كميات ذات دلالة لأيوني البوتاسيوم K^+ والروبيديوم Rb^+ وجزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون في القنوات الفارغة ببنية البيريل. يعود تواجد هذه الكاتيونات (مثل البوتاسيوم والروبيديوم) إلى الإحلالات المزدوجة من النوع:



حيث R تمثل أيونات البوتاسيوم أو الروبيديوم أو السيزيوم. وعلى الجانب الآخر، تسبب مساهمة جزيئات مثل الماء وثاني أكسيد الكربون في وجود ترابط ضعيف ناتج عن رابطة هيدروجينية لشبكة الألومنيوم-السيليكون المحيطة. ويرجع سهولة فقد هذه الجزيئات بمجرد التسخين إلى ضعف روابطها في البنية البلورية.



شكل ٤-١٢: منظر جانبي للحلقات يوضح كيفية إتصالها بوحدات رباعي الأوجه.

كيميائية المعدن

برغم أن البيريل يبدو من صيغته الكيميائية $(Be_3Al_2Si_6O_{18})$ أنه يحتوي فقط على البيريليوم والألومنيوم والسيليكون، إلا أنه يحتوي أيضاً على

جدول ٤-٤: التحليل الكيميائي للبيريل من مناطق مختلفة.

٥	٤	٣	٢	١	
٦٥,٣٤	٦٥,١٨	٦٦,١٥	٦٤,٧٧	٦٤,٦٣	SiO ₂
١٦,٥١	١٦,٥٧	١٥,٩٩	١٣,٦٣	١٤,١٠	Al ₂ O ₃
٠,٣١	٠,٥٠	٢,٢٥	٢,٢٢	٣,٨٣	FeO
--	--	٠,٦٤	--	--	MnO
٠,٨٧	١,١٥	٠,١٧	٢,٦٠	١,٢٧	MgO
٠,٣٧	٠,٢٦	--	٠,٩٨	--	Cr ₂ O ₃
٠,٦٤	--	--	--	--	V ₂ O ₅
--	--	٠,٥٥	--	--	TiO ₂
٠,٤٩	١,١٥	٠,٣٠	١,٩٠	٣,٢٥	Na ₂ O
--	--	٠,٢٢	--	--	K ₂ O
--	--	٠,٣٣	--	--	Cs ₂ O ₅
--	--	٠,١٠	--	--	Rb ₂ O
--	٠,١٠	٠,٠٣	٠,٠٣	٠,٠٧	LiO ₂
١٣,٣٧	١٣,٢٧	١٣,٤٠	١٢,٩٦	١٣,٠٢	BeO
٢,٤٠	٢,٣٠	٠,٠٠	٢,٢٠	غير مقاس	L.O.I
١٠٠,٣	١٠٠,٤٨	١٠٠,١٣	١٠٠,٢٩	١٠٠,١٧	المجموع

كاتيونات= ١٨ ذرة أكسجين

٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	Si
١,٧٣	١,٧٨	١,٧٢	١,٤٧	١,٥٣	Al
--	--	٠,٠٣	--	--	Fe ³⁺
٠,٠٢	٠,٠٤	٠,١٤	٠,٠١	٠,٣٠	Fe ²⁺
--	--	٠,٠٥	--	--	Mn
٠,١٢	٠,٢	٠,٠٢	٠,٣٦	٠,١٨	Mg
٠,٠٣	٠,٠٢	--	٠,٠٧	--	Cr
٠,٠٥	--	--	--	--	V
--	--	٠,٠٤	--	--	Ti
٢,٩٦	٢,٩٤	٢,٩٠	٢,٩١	٢,٨٦	Be
--	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٣	Li
٠,٠٣	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٣	Si
٠,٠١	٠,٠٢	٠,٠٠٤	٠,٠٣	٠,٠٠٣	Al
٠,٠٩	٠,٢١	٠,٠٥	٠,٣٤	٠,٤١	Na
--	--	٠,٠٣	--	--	K
--	--	٠,٠١	--	٠,٠١	Cs
--	--	٠,٠٠٣	--	--	Rb

تابع جدول ٤-٤: التحليل الكيميائي للبيريل من مناطق مختلفة.

٦	٧	٨	٩	١٠	
٦٥,٦٦	٦٥,٥٩	٦٤,١٦	٦٣,٢٩	٦٣,٦٠	SiO ₂
١٧,٩٠	١٨,٢٥	١٨,٠٦	١٧,٧٦	١٤,٥٤	Al ₂ O ₃
١,٢٦	١,١٦	--	--	٠,٣٨	FeO
--	--	--	--	--	MnO
--	--	--	--	٢,٢٧	MgO
--	--	--	--	٠,٣٥	Cr ₂ O ₃
--	--	--	--	--	TiO ₂
--	٠,٢٦	١,٥٧	١,٢٣	١,٧٢	Na ₂ O
--	--	--	--	--	K ₂ O
--	--	٢,١٠	٣,٧٩	--	Cs ₂ O ₅
--	--	٠,٠٢	٠,٠٥	--	Rb ₂ O
٠,٠٢	--	١,١٩	١,٣٠	٠,٠٤	LiO ₂
١٣,٦١	١٣,٤٦	١١,١٢	١٠,٧٩	١٣,٠١	BeO
١,١٠	٠,٧٠	١,٣٠	١,١٠	٢,٦٠	L.O.I
٩٩,٥٥	٩٩,٤٢	٩٩,٥٢	٩٩,٣١	٩٨,٥١	المجموع
كاتيونات= ١٨ ذرة أكسجين					
٥,٩٩	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	٦,٠٠	Si
٠,٠١	٠,٠٠٤	--	--	--	Al
١,٩٠	١,٩١	٢,٠٠	٢,٠٠	١,٦٢	Al
٠,٠١	٠,٠٠٢	--	--	--	Fe ³⁺
--	٠,٠٩	--	--	٠,٠٣	Fe ²⁺
--	--	--	--	--	Mn
--	--	--	--	٠,٣٢	Mg
--	--	--	--	٠,٠٣	Cr
--	--	--	--	--	Ti
٢,٩٨	٢,٩٥	٢,٥١	٢,٤٧	٢,٩٦	Be
١,٠١	--	٠,٤٥	٠,٥٠	٠,٠٢	Li
--	--	٠,٠٤	٠,٠٤	٠,٠٣	Si
٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠٠٢	--	--	Al
--	٠,٠٥	٠,٢٩	٠,٢٣	٠,٢٢	Na
--	--	--	--	--	K
--	--	٠,٠٨	٠,١٥	--	Cs
--	--	٠,٠٠١	٠,٠٠٢	--	Rb

- ١= بيريل أزرق غامق بصخور متحولة بسحنة الشيست الأخضر من منجم كالكافيرو، إيطاليا (Calcaferro Mine, Italy) (أوريسيتشيو وآخرون ١٩٨٨). (Aurischio et al.)
- ٢= بيريل أخضر غامق بصخور التلك شيست والدولوميت بمنطقة سويت فالي، باكستان (Sweet Valley, Pakistan) (جوبيلين ١٩٨٢). (Gubelin)
- ٣= بيريل ذو نطاقيّة وردية إلى حمراء من الحافة إلى اللب بجبال واه واه، يوتا، أمريكا (Wah Wah Mountains, Utah, U.S.A.) (شيجلي وفورد ١٩٨٥). (Shigley and Foord)
- ٤= بيريل أخضر بصخور البيوتيت شيست بمنطقة باهيا، البرازيل (Bahia, Brazil) (زاور ١٩٨٢). (Sauer)
- ٥= بيريل أخضر غامق بعروق من الكالسيت-الدولوميت بمنطقة موزو، كولومبيا (Muzo, Colombia) (كيلير ١٩٨١). (Keller)
- ٦= بيريل أخضر شاحب بصخور البيجماتيت بمنطقة جوز، نيجيريا (Jos, Nigeria) (ليند وآخرون ١٩٨٤). (Lind et al.)
- ٧= بيريل أزرق فاتح بجبال الأورال، الإتحاد السوفيتي سابقاً (Ural Mountains, USSR) (سينكانكاس ١٩٨١). (Sinkankas)
- ٨= بيريل عديم اللون بصخور البيجماتيت بمنجم ساليانس، البرازيل (Salinas mine, Brazil) (بروكتور ١٩٨٤). (Proctor)
- ٩= بيريل وردي اللون بصخور البجماتيت بمنجم ماوي، أفغانستان (Mawi mine, Afghanistan) (عن بارياند وبولين ١٩٧٨). (Bariand and Poullin)
- ١٠= بيريل أخضر اللون بصخور التلك-بيوتيت-أكتينوليت شيست بسالزبورج، النمسا (Salzburg, Austria) (فرانز وآخرون ١٩٨٦). (Franz et al.)

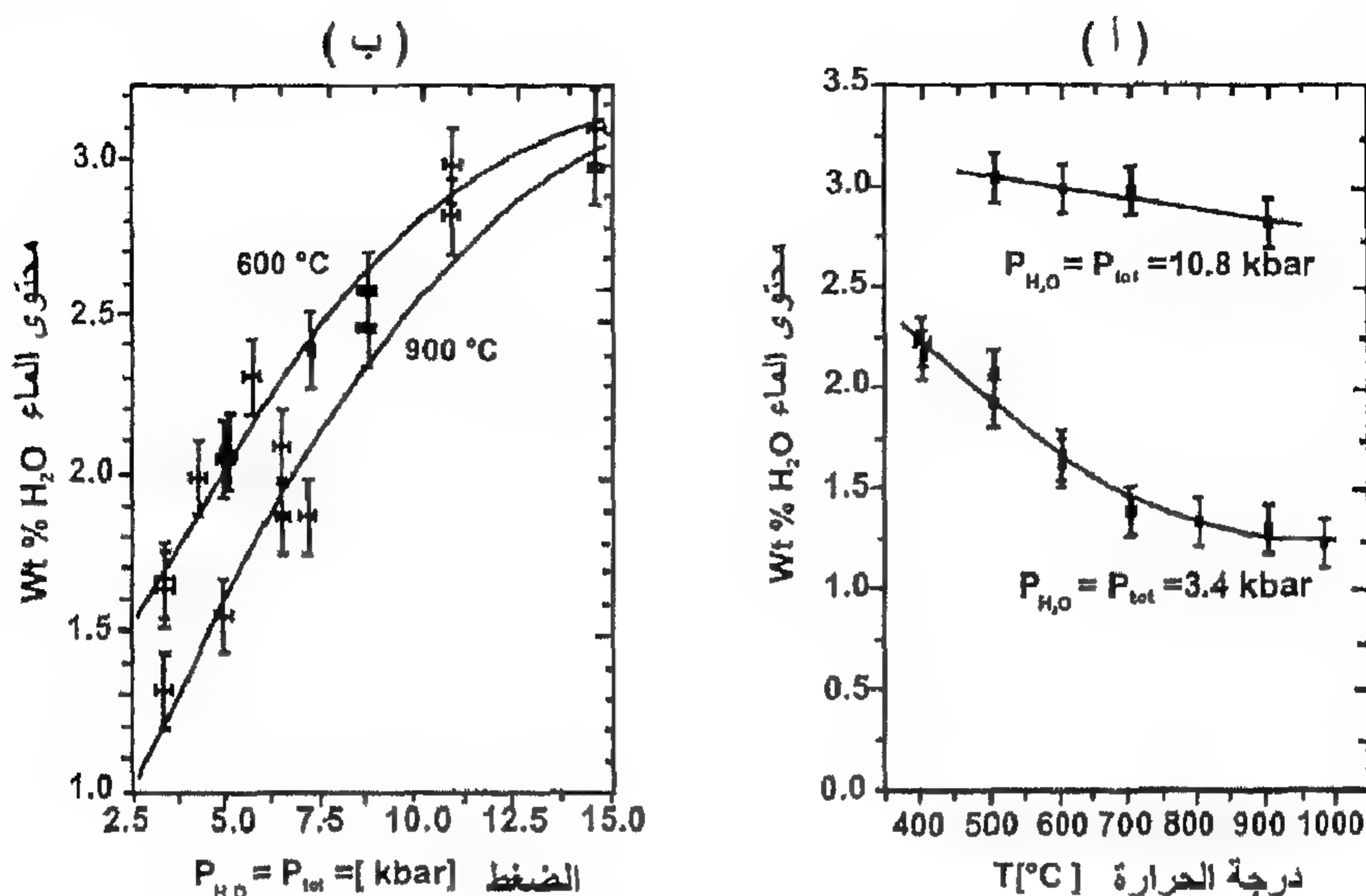
مجموعة القلويات التي قد تصل في بعض الأنواع من البيريل إلى حوالي ٥ إلى ٦ % (دير وآخرون ١٩٨٩). تتمثل هذه القلويات بشكل أساسي في الليثيوم والسيزيوم والتانتالم والصوديوم (جدول ٤-٤)، كما يمكن وجود أيضاً البوتاسيوم والروبيديوم ولكن أقل شيوعاً. يحل الليثيوم محل الألومنيوم في الأنواع الغنية بالليثيوم بالمواقع ثمانية الأوجه، وعلى الجانب الآخر فإن الألومنيوم يحل محل البيريليوم في بعض المواقع رباعية الأوجه. من الممكن تخليق البيريل معملياً من خليط مكون من ثاني أكسيد السيليكون SiO_2 ، أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 وكربونات البيريليوم $BeCO_3$ عند درجات حرارة تتراوح بين ٤٠٠ إلى ٨٥٠ درجة مئوية وقيمة ضغط تتراوح بين ٤٠٠ و ٢٠٠٠ بار. حيث تم تخليق الزمرد في محاليل قلوية تحتوي على أكسيد البيريليوم وأكسيد الألومنيوم وأكسيد السيليكون مع وجود قليل من أكسيد الكروميوم. في حالة ما يكون هناك نقص في أكسيد الألومنيوم فإنه من الممكن تواجد

مكتتفات من الفيناكيت ($\text{Phenakite Be}_2\text{SiO}_4$). ومن المعلوم أن الزمن اللازم لتخليق بلورة زمرد كبيرة الحجم (تصل إلى ١ قيراط) هو حوالي سنة واحدة. تشمل نواتج التجوية للبيرييل كل من الكاولينيت والمسكوفيت والبافينيت والبيرترانديت والفيناكيت والإبيديميت والميلاريت (Kaolinite, Muscovite, Bavenite, Bertrandite, Phenakite, Epidymite and Milarite) (دير وآخرون ١٩٨٩).

بناءً على ما سبق فإنه من الممكن إعادة كتابة الصيغة الكيميائية لمعادن البيرييل على النحو التالي:



حيث أن X تمثل المحتوى الجزيئي و/أو الأيوني بمواقع القنوات [chan] بالشبكة البنائية للبيرييل. تتكون هذه القنوات من إتصال داخلي للفجوات ذات نصف قطر يصل إلى ٥,١٥ أنجستروم بين الحلقات عند $Z=1/4$ ، بينما عند المستوى الأفقي المعاكس للحلقات يقل نصف القطر إلى ٢,٤٩ أنجستروم. تحتوى هذه الفجوات والفراغات على جزيئات $(\text{X}_{\text{Mol}})^{[\text{chan}]}$ مثل الماء أو ثاني أكسيد الكربون (وود وناساو ١٩٦٧، ١٩٦٨ Wood and Nassau) أو أيونات $(\text{X}_{\text{Mn}}^{+[\text{chan}]})$ مثل الأيونات القلوية. عندما تصل قيمة $n\text{H}_2\text{O}$ إلى ١,٠٠ فإنه من الممكن تواجد جزئ ماء واحد بأحد الفجوات بالبنية البلورية للبيرييل (بنكرس ولانجر ٢٠٠٢ Pankrth and Langer). يظهر شكل (٤-١٣أ،ب) مدى اعتماد المحتوى المائي بالبيرييل النقي ($\text{Al}_2(\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18})$) على الحرارة والضغط (بنكراس ولانجر ٢٠٠٢). يتضح من الشكل (٤-١٣أ) أن محتوى الماء بالبيرييل يقل مع زيادة درجة الحرارة وعلى عكس ذلك تزداد نسبة محتوى الماء بالبيرييل مع زيادة الضغط (٤-١٣ب).



شكل ٤-١٣: مخطط يبين مدى إعتداد محتوى الماء بالبيريل على: (أ) درجة الحرارة عند ضغط يساوي ٣,٤ و ١٠,٨ كيلوبار ، (ب) الضغط عند درجات حرارة ٦٠٠ و ٩٠٠ درجة مئوية (بنكراس ولانجر ٢٠٠٢ Pankrath and Langer).

الصفات الفيزيائية والبصرية

عادةً ما يكون لون البيريل أبيض في حاله النقيه، ولكن يعود التعدد اللوني الذي نراه بالبيريل إلى وجود العديد من الشوائب Impurities أو العناصر الشحيحة. أكسب التعدد اللوني للبيريل ميزة استخدامه كحجر كريم، ويعد كل من الأكوامارين (لون أزرق إلى لون مخضر) والزمرد (أخضر اللون) من أشهر أنواع البيريل، وهناك أنواع أخرى ذات ألوان مختلفة (شكل ٤-١٤)، منها:

- النوع الأصفر المخضر والذي يسمى هيلودور Heliodor
- النوع الوردي والذي يسمى مورجانيت Horganite
- النوع عديم اللون والذي يسمى جوشينايت Goshenite
- النوع ذو اللون الأحمر Red beryl والذهبي Golden beryl

البريق زجاجي وتظهر بعض البلورات بريق كعين الهر في الظلام Catoyancy. المخدش أبيض اللون وتتراوح الشفافية في معادن البيريل بين

شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة= ٧,٥-٨,٠ والمكسر محارى إلى غير مستوي. يتراوح الوزن النوعي ما بين ٢,٦-٢,٩.

(أ)



(ب)



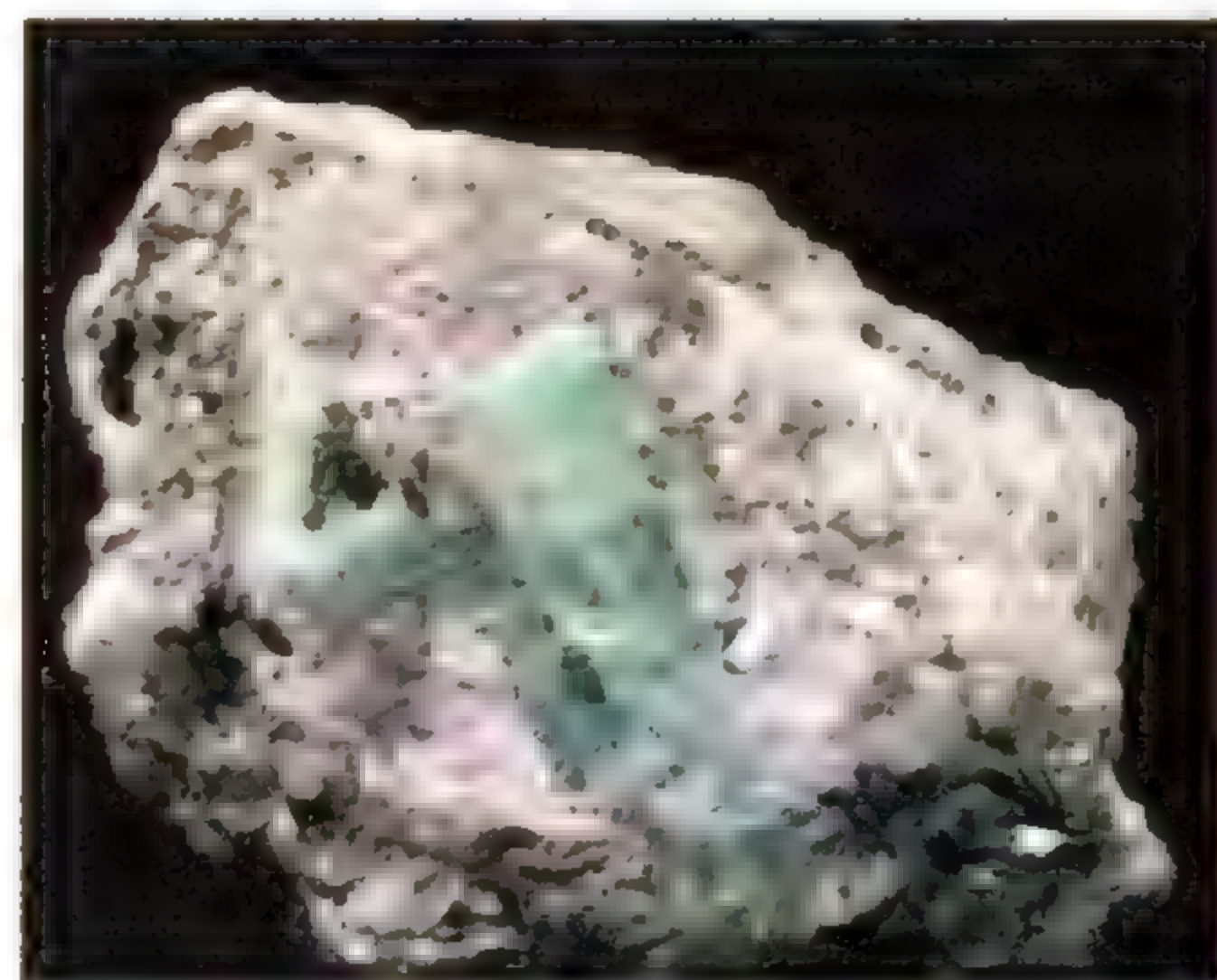
(ج)



(د)



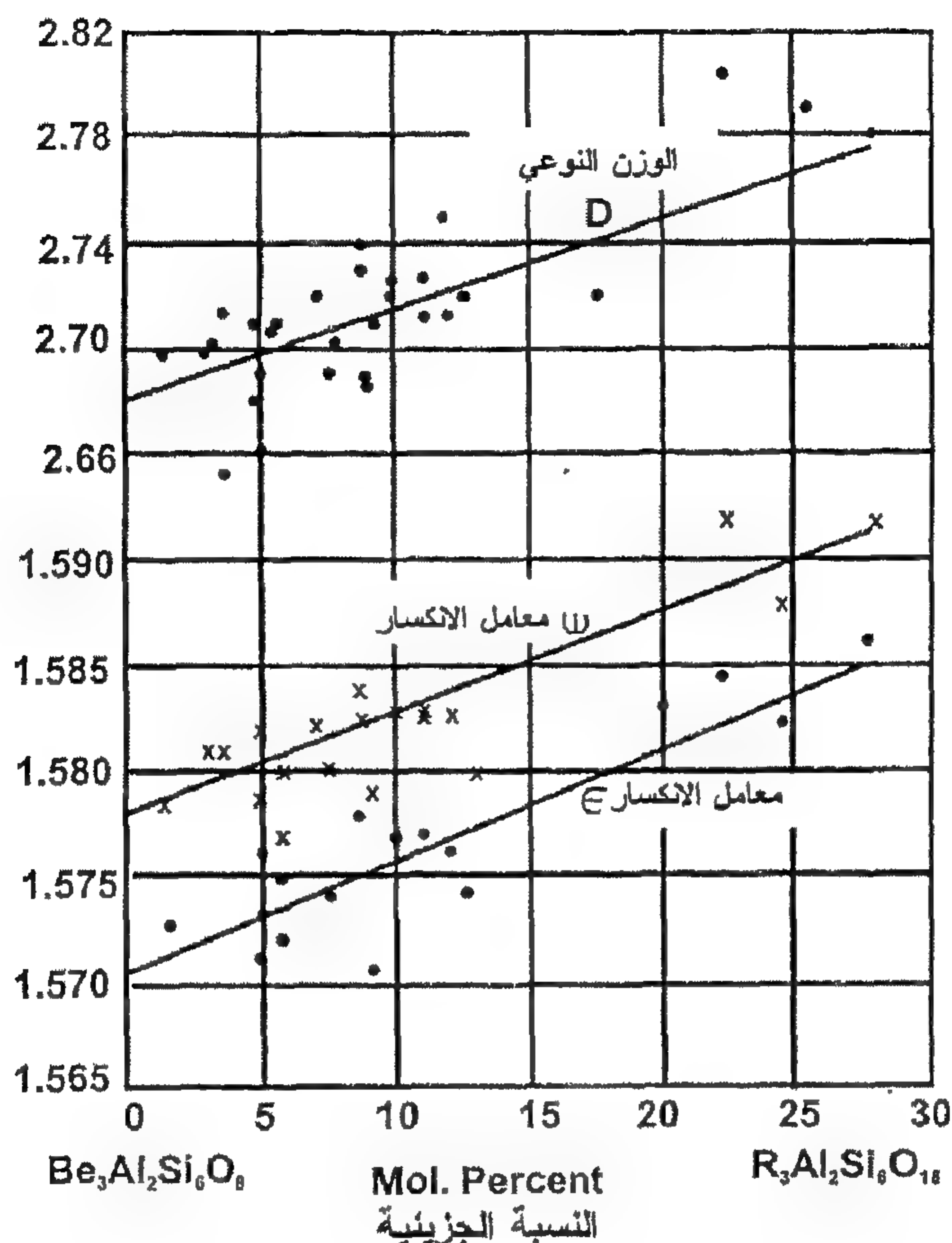
(هـ)



(و)



شكل ٤-١٤: أنواع مختلفة من البيريل. (أ) جوشينيت عديم اللون، (ب) بيريل نقي أبيض اللون، (ج) هولييدور أصفر اللون، (د) زمرد أخضر اللون، (هـ) بيريل أخضر اللون، (و) بيريل أحمر اللون.



شكل ٤-١٥: مخطط يبين تغير معاملي الانكسار والوزن النوعي بالبيريل مع تغير النسبة الجزيئية للمحتوى القلوي (دير وآخرون ١٩٨٩). $R =$ صوديوم أو روبيدوم أو سيزيوم.

كما هو واضح بشكل رقم (٤-١٥)، يعتبر المحتوى القلوي هو العامل الأساسي الذي يتحكم في صفات البيريل (دير وآخرون ١٩٨٩) حيث تصاحب زيادة المحتوى القلوي زيادة في كل من معاملي الانكسار Refractive indices والوزن النوعي. البيريل معدن أحادي المحور سالب (-) Uniaxial، حيث معاملات الانكسار: $(\omega) = 1.560 - 1.602$ و $(\epsilon) = 1.557 - 1.599$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.004 - 0.008$.

يعد الزمرد من أغلى أنواع البيريل حيث يتميز باللون الأخضر الذي يعود إلى عملية إحلال لبعض العناصر الشحيحة مثل الكروميوم والفانديوم

للألومنيوم. يتميز الزمرد بوجود العديد من الشوائب والمكثفات (فقاعات غازية أو معادن أخرى). يوجد الزمرد على شكل بلورات كبيرة وقد تم إكتشاف أكبر بلورة في كارنيبا Carnaiba بالبرازيل عام ١٩٧٤ ويصل وزنها إلى ٨٦,١٣٦ قيراط. من ناحية أخرى يعتبر الأكوامارين من أحد أنواع الأحجار الكريمة ولكنه لا يصل إلى قيمة الزمرد. يتميز الأكوامارين باللون الأزرق أو اللون الأزرق المخضر. يتراوح اللون من أخضر شاحب إلى أزرق شاحب إلى أزرق اعتماداً على التركيز النسبي للحديد الثنائي Fe^{2+} والحديد الثلاثي Fe^{3+} وأيضاً على موقع شوائب الحديد بالبنية البلورية للمعدن. تعد البرازيل من أكثر الدول إنتاجاً للأكوامارين ثم يليها الولايات المتحدة الأمريكية. الهيليودور هو أحد أنواع البيريل ذو اللون الأصفر ويطلق عليه أيضاً اسم "أم الأحجار الكريمة" "Mother of gem stones". يتواجد الهيليودور بمدغشقر والبرازيل والولايات المتحدة الأمريكية ودول الشرق الأوسط وروسيا.

يسمى البيريل ذو اللون الوردى باسم المورجانييت. ويعود هذا اللون إلى وجود المنجنيز الذى يتخلل البنية البلورية له. وقد أُشتق اسم هذا النوع من البيريل من اسم أحد رجال الصناعة المشهورين بالولايات المتحدة الأمريكية والملقب باسم مورجان J.P.Morgan. ويعتبر الجوشينيت أحد أنواع البيريل عديم اللون. وحيث أن الألوان التى تظهرها الأنواع الأخرى من البيريل تعود إلى ما تحتويه من العناصر الشحيحة، فأن الجوشينيت يعد من أنقى أنواع البيريل ويرجع ذلك إلى انخفاض محتواه من هذه العناصر. أما البيريل الأحمر فهو من أندر أنواع البيريل والذى تم التعرف عليه عام ١٩٠٥ بولاية يوتا Utah على هيئة بلورات صغيرة نصف شفافة بصخر الريوليت. ولا تعتبر نوعاً جيداً من الأحجار الكريمة. ومع نهاية الخمسينات، تم العثور على نوعيات أفضل بأحجام كبيرة بجبال واه واه Wah Wah Mountains بمنطقة بيفر Beaver County. تبلغ أكبر بلورة من البيريل الأحمر ١٤ ميلليميتر x ٣٤ ميلليميتر وتزن حوالى ٥٤ قيراط.

التواجدات والصحبة المعدنية

رغم النسبة المنخفضة لتواجد البيريليوم بالأرض (٢,٨ جزء في المليون، تيلور ١٩٦٤ Taylor)، فإنه ينتشر في حوالي ٩٠ معدن كمكون أساسي (فلايشر وماندارينو ١٩٩٥ Fleischer and Mandarino). يعتبر البيريل أكثر هذه المعادن أهمية. يتواجد البيريل بشكل أساسي في البيجماتيت الجرانيتي، ولكنه يوجد أيضاً بالريوليت التوبازي مصاحباً لرواسب المحاليل الحرمائية (مثل العروق والجريزن Greisens)، كما يوجد أيضاً ببعض الصخور المتحولة مثل النيس والشيست، ولكنه أقل شيوعاً بالصخور الجرانيتية. يطلق على صخور البيجماتيت الجرانيتي الغني بالبيريل عائلة LCT أى الغنية بالليثيوم Li والسيزيوم Cs والتانتالم Ta (كيرنى ١٩٩١ Cerny). غالباً ما يكون البيجماتيت من هذا النوع ليكوقراطي (أي أبيض اللون) ومشبع بالبوتاسيوم والألومنيوم Peraluminous والذي ينتج غالباً من عملية خلط لصهير جرانيتي من أصل ناري وآخر من أصل رسوبي. يتكون البيريل الأحمر في الكسور والفجوات بصخر الريوليت بفعل الغازات عالية الحرارة والتي تتصاعد في المراحل المتأخرة من تبلور وتبريد الصهير الريوليتي.

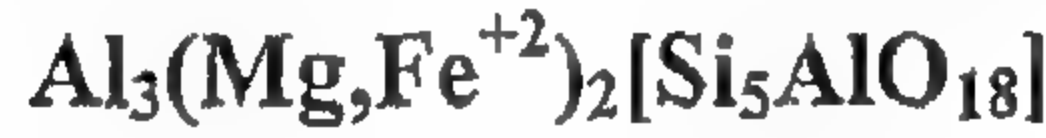
هناك ثلاث عوامل أساسية تتحكم في عملية تكون البيريل بالبيجماتيت (إيفانسين وآخرون ١٩٩٩ Evensen et al.)، وهي: الحرارة ونشاط الألومنيوم والسيليكا وإضافة مكونات تساعد على عملية الصهر Fluxing. قد يتواجد البيريل كبلورات كاملة الأوجه في "جيوب" أو كبلورات كاملة الأوجه إلى عديمة الأوجه مصاحبة لمعادن أخرى مثل الكوارتز والفلسبار البوتاسي والألبيت والمسكوفيت والعديد من المعادن الإضافية. ويتواجد البيريل أيضاً برواسب الأودية ويرجع ذلك إلى صلابته وكثافته العالية. تعد البرازيل المصدر الرئيسي للأكوامارين حيث تم استخراج بلورة تصل إلى ١٠٠-١٥٠ كجم. كما تم التعرف على بلورات كبيرة للأكوامارين والمورجانيت في مدغشقر. كما يتواجد البيريل أيضاً بأوروبا (النمسا وألمانيا وإيرلاندا). يوجد المورجانيت بمدغشقر والبرازيل والولايات المتحدة الأمريكية. يوجد البيريل

في المملكة العربية السعودية بصخور البيجماتيت بمنطقة جبل طربان حيث تتراوح أطوال بلوراته من ٢ إلى ٤ سم وفي مصر بصخور النيس بمنطقة وادي سيكيت بالصحراء الشرقية.

الاستخدامات

من الناحية التاريخية، كان البعض يستخدم الأكوامارين والزمرد كتعويذة تحميهم أثناء وجودهم بالبحر وتمحي الحقد والكراهية من النفس البشرية ويعم السلام والصفاء. كما استخدمه البعض كتعويذة تعطيه الشجاعة وتساعد على الثقة بالنفس. كما اعتقد القدماء بأن الأكوامارين يساعد على قلة الاعتماد على الدواء ويساعد على الهضم وعلاج الغدد المتضخمة ويحافظ على صحة الفك والأسنان. في العصر الراهن، بالإضافة لكونه حجر كريم، يعد البيريل الخام الرئيسى للبيريليوم والذي يستخدم في الصناعات النووية والإضاءة والسبائك القوية التي تستخدم في صناعة الطائرات. كما تستخدم أملاح البيريليوم في اللبسات المتفجرة وأنابيب الأشعة السينية.

الكورديريت Corderite

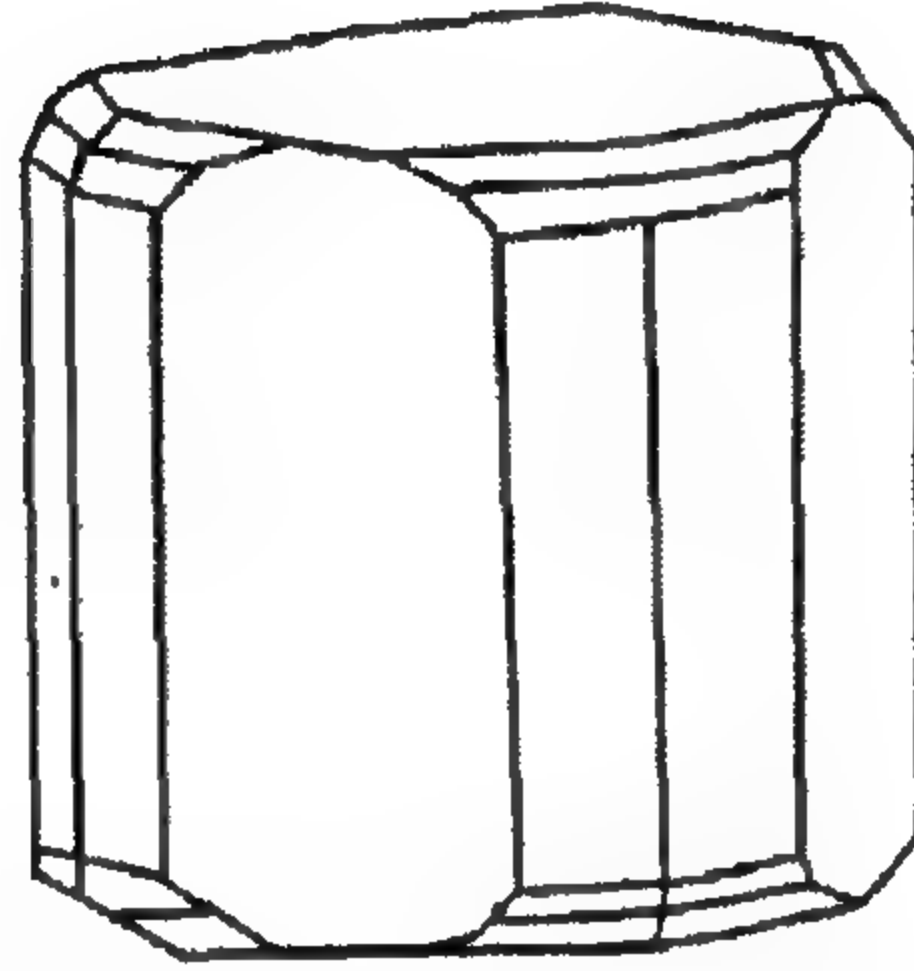


يعود هذا الاسم إلى عالم المعادن الفرنسي *P.L.A. Cordier* (١٧٧٧-١٨٦١) حيث أنه أول من وصف هذا المعدن. رغم أن المعدن لا يعد من الأحجار الكريمة مقارنةً بالبيريل والتورمالين، إلا أن هناك أنواع منه يمكن اعتبارها حجر كريم، مثل الأيولايت *Iolite*. وهذا المعدن معروف بجاذبيته والتي ترجع إلى اللون الأزرق والبنفسجي مما حدا ببعض العلماء إلى تسميته سافير الماء *Water sapphire*. تعد كل من سريلانكا والهند ومدغشقر وبورما من أكثر الدول المنتجة لمعدن الأيولايت.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة المعينى القائم أو السداسي الكاذب Pseudohexagonal، حيث: أ= ١٧,١٣، ب= ٩,٨، ج= ٩,٣٥ أنجستروم.

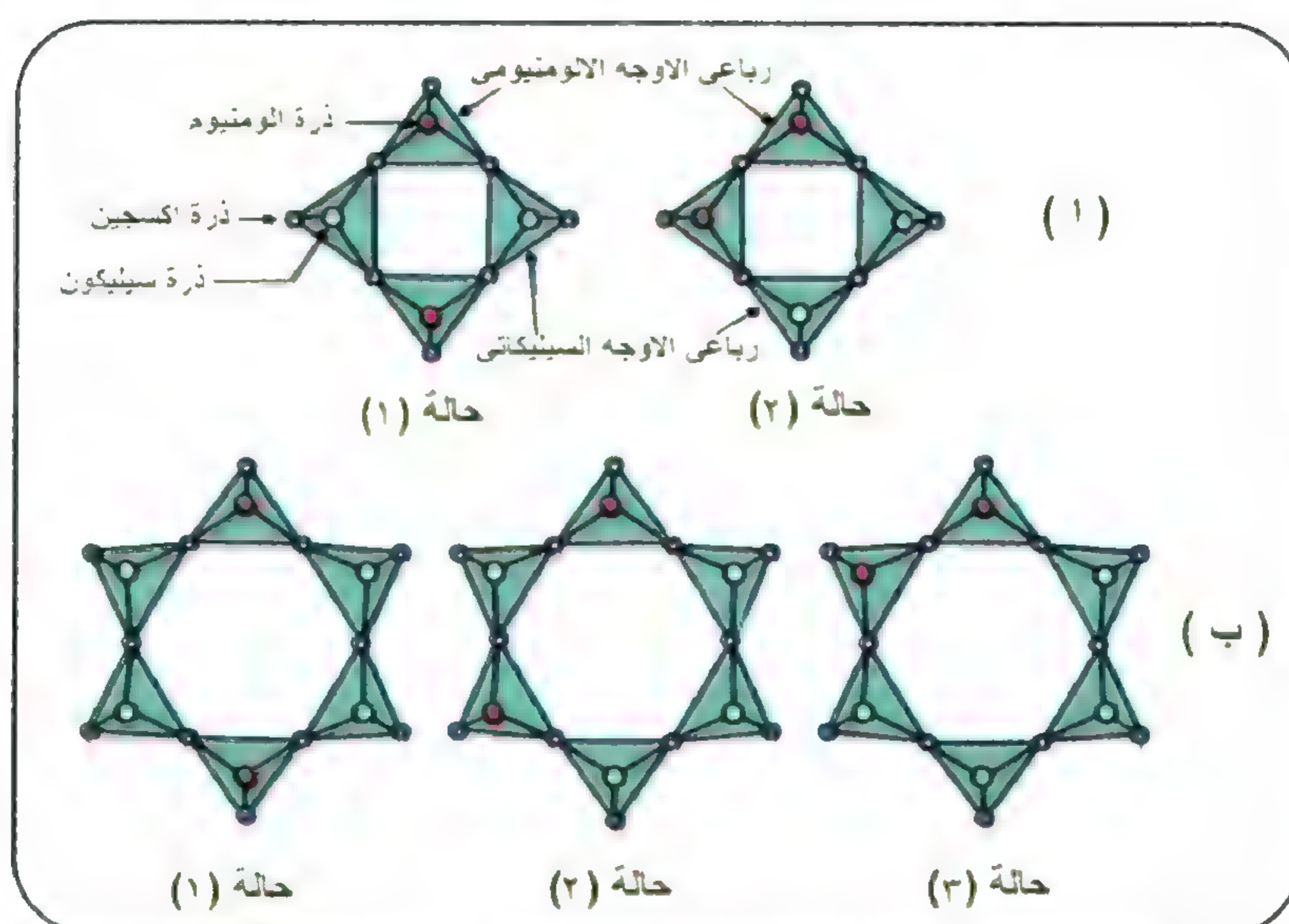
مجموع الذرات بخلية الوحدة $(Z) = 4$ ومجموعة النقطة $2/m2/m2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/C2/C2/m$. عادةً ماتكون البلورات على شكل منشوري قصير (شكل ٤-١٦) أو شكل حبيبي أو كتلي.



شكل ٤-١٦: الشكل البلوري المميز لمعدن الكورديريت.

يتشابه الكورديريت مع البيريل في أنه يتكون من حلقات ذات ستة وحدات من رباعي الأوجه حسب الصيغة Si_6O_{18} مما جعل تصنيفه يتبع السيليكات الحلقية. يُصنف أغلبية العلماء الكورديريت كمعدن تابع لمجموعة السيليكات الحلقية اعتماداً على محتواه الكاتيوني بموقع ثماني الأوجه والذي لا يؤهله لأن ينضم إلى مجاميع المعادن المنتمة إلى السيليكات الشبكية أو Tectosilicate مثل الفلسبار.

من الممكن رؤية البنية البلورية للكورديريت على أنها سلسلة من حلقات ذات أربع وحدات من رباعي الأوجه الألومنيومي AlO_4 والسيليكاتي SiO_4 المتبادلة (تماثل D_{4h}) أو حلقات ذات ستة وحدات من رباعيات الأوجه للتركيب $Al_2Si_4O_{18}$ (تماثل D_{6h}) (شكل ٤-١٧) (عن جيبس ١٩٦٦ Gibbs؛ كوهين وآخرون ١٩٧٧ Cohen et al.). تمثل بنيت الكورديريت المتمثلة في الحالتين أ١ وب١ (شكل ٤-١٧) أكثر حالات الكورديريت إستقراراً يليها كل من الحالتين أ٢ وب٢ وتعتبر البنية المتمثلة في الحالة ب٣ هي الأقل إستقراراً (كوهين وآخرون ١٩٧٧).



شكل ٤-١٧: أشكال توضيحية للترتيب الممكن لحلقات رباعى الأوجه السيليكاتى SiO_4 والألومنيومى AlO_4 فى الكورديريت: (أ) حلقات من أربع أعضاء ذات تركيب $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{12}$ (تماثل D_{4h})، (ب) حلقات من ستة أعضاء وذات تركيب $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{18}$ (تماثل D_{6h}).

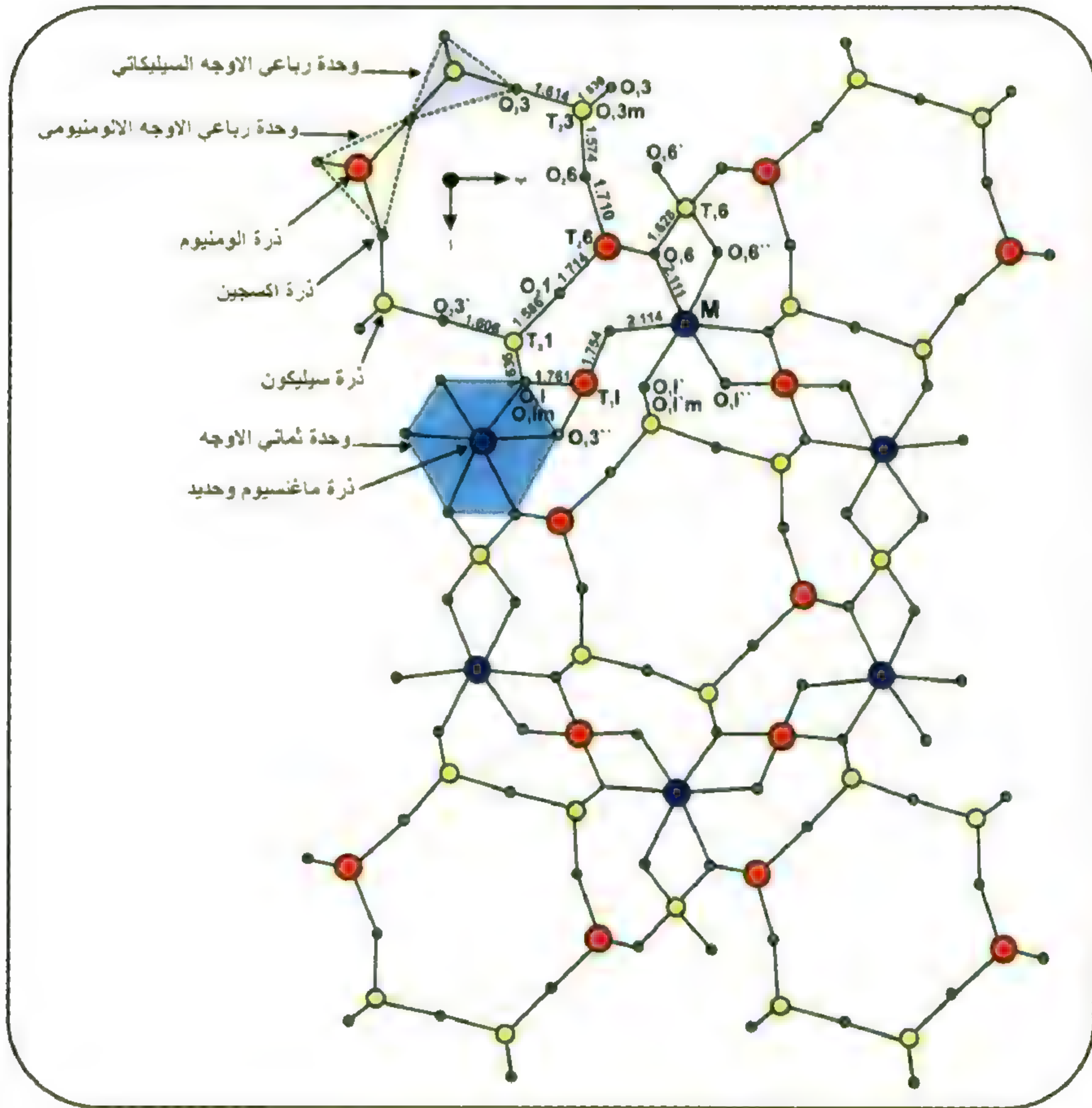
يمكن تمييز نوعين من وحدات رباعى الأوجه بالبنية البلورية للكورديريت (شكل ٤-١٨): رباعى الأوجه بالموقع T1 حيث تشارك مع حافتين عكسيتين من وحدات ثمانى الأوجه ذات تناسق كاتيوني M. تكون هذه الجواف المشتركة لوحدات رباعى الأوجه وثمانى الأوجه طبقات بنائية لا نهائية على شكل يشبه بنية خلايا النحل والمكونة من خلايا سداسية رفيعة (شكل ٤-١٨). تتعامد هذه الطبقات على المحاور البلورى "c" وتسمى طبقات M. وعلى الجانب الآخر، توجد الحلقات السداسية المشوهة ذات رباعى الأوجه T2 بين الطبقات M. تشارك كل وحدة من رباعيات الأوجه بالموقع T2 ركنين مع وحدة رباعى الأوجه بالموقع T1 بالطبقات M المتواجدة أعلى وأسفل منها. بهذه الطريقة، تقوم وحدات رباعى الأوجه T1 بتوصيل حلقتين T2 والمتواجدة أسفل الطبقة M بحلقتين أخريتين أعلى من هذه الطبقة. الحلقات T2 ذات دوران عكسى قدره حوالى ٣٠ درجة بالنسبة

إلى طبقات T1 المجاورة، مما يعطى نوعين مختلفين من الطبقات T وتكرار مكون من طبقتين من نوع M وطبقه من النوع T (مالشيريك وآخرون ٢٠٠١ Malcherek et al.). يؤدي ذلك إلى تكوين حزمة لانهائية من وحدات رباعي الأوجه T1 موازية للمحور البلوري "c".

تؤدي هذه البنية التركيبية لوحدات رباعي الأوجه ذات المشاركة الركنية إلى تكوين العديد من القنوات المفتوحة والموازية للوجه (100). تحتوي هذه القنوات على جزيئات من الماء وثاني أكسيد الكربون أو الكاتيونات كبيرة الحجم مثل البوتاسيوم أو الصوديوم. ومن الممكن هروب جزيئات الماء والمكونات المتطايرة من تلك البنية مع التسخين مما يؤدي إلى تكون الكورديريت اللامائي. في حالة الكورديريت المائي، فإنه يحدث تناسق لكاتيون الصوديوم مع جزيئات الماء المتواجد بالفجوات القنوية فوقه وتحتة (أرمبروستر ١٩٨٦ Armbruster). في حالة الكورديريت اللامائي، تختفي هذه الجزيئات من الماء مما يؤدي إلى زيادة الحركة الناتجة من حرارة التسخين لكاتيون الصوديوم خلال محور القناة Channel axis (أرمبروستر ١٩٨٦).

من الممكن حدوث نوع من الإحلال الكاتيوني بالمواقع رباعية الأوجه للكورديريت حيث يتواجد البيريليوم Be. هذا وقد تم تسجيل تركيزات ذات مغزى من البيريليوم بأنواع الكورديريت بصخور البيجماتيت الغنية بالصوديوم. يعكس ذلك احتمالية حدوث إحلال من نوع $Be^{2+} + Na^{+} = Al^{3+}$ وهناك احتمالية أخرى لعملية الإحلال والتي تم إثباتها معملياً بواسطة شراير (١٩٨٥) Schreyer والمتمثلة في $Be^{2+} + Si^{4+} = 2Al^{3+}$ ، مما يؤدي إلى تكون نوع إفتراضى ذو صيغة كيميائية $Mg^{2+}[BeAl_2Si_6O_{18}]$. هناك نوع من الإحلال المحدد للماغنسيوم في بنية رباعيات الأوجه للكورديريت الماغنيسيومي وقد ذكر ذلك العديد من الباحثين (شراير ١٩٨٥، أرمبروستر ١٩٨٥ ب) حيث يتم هذا الإحلال على الصورة: $Mg^{2+} + Si^{4+} = 2Al^{3+}$ ، وحيث أنه يمكن تواجد الحديد الثنائي Fe^{2+} بمواقع

التناسق لرباعيات الأوجه، فإنه من الممكن إعادة صياغة معادلة الإحلال السابقة على هذا النحو: $(Fe,Mg)^{2+} + Si^{4+} = 2Al^{3+}$. وعلى الجانب الآخر، ذكر فانس وبرائيس (١٩٨٤) Vance and Price أن هناك كميات محدودة من الحديد الثنائي Fe^{2+} بمواقع التناسق لرباعيات الأوجه، والنتيجة من إحلاله للألومنيوم Al^{3+} . ويتعارض ذلك مع ما تم ذكره سابقاً والذي يفترض أن الحديد غير المتواجد بموقع ثماني الأوجه يشغل القنوات بالبنية البلورية للكورديريت (جولدمان وآخرون ١٩٧٨ Goldman et al.). وحديثاً اقترح جيجر وآخرون (٢٠٠٠) Geiger et al. بأن الحديد يتواجد بالموقع T11 وذلك بالاستعانة بالتقنيات السبيكتروسكوبية وحيود الأشعة السينية للبلورة المنفردة.



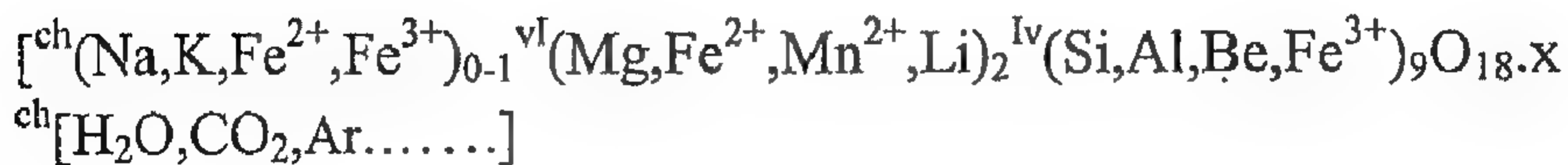
شكل ٤-١٨: البنية البلورية للكورديريت كما هو مرئي في اتجاه موازي للمحور البلوري "c" لبنية حلقية ذات ستة وحدات. تمثل القيم التي بين الذرات أطوال الرابطة المحسوبة (أنجستروم) من حيود النيوترون Neutron diffraction (تم تحويلها من كوهين وآخرون ١٩٧٧).

يتواجد الكورديريت الماغنيسيومي $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ على صورتين متعددتى الشكل ويعتمد ذلك على ظروف الحرارة التى يتكون فيها الكورديريت. ففي ظروف الحرارة المرتفعة، يتبلور الكورديريت على شكل سداسى ذو مجموعة فراغية $P6/mcc$ ، وتبلغ درجة حرارة الإستقرار لهذا النوع من الكورديريت مايزيد عن ١٤٥٠ درجة مئوية (شرابير وشايرار ١٩٦١ Schreyer and Schairer ، بوتنس ١٩٨٠ Putnis)، مما يدل على عشوائية ترتيب كل من ذرات الألومنيوم والسيليكون. يعرف نوع الكورديريت ذو درجة الحرارة العالية باسم إندياليت Indialite أو باسم الكورديريت العالى High-cordierite. ويتشابه تركيب الإندياليت مع تركيب البيريل ذو المجموعة الفراغية $P6/mcc$. مع عمليات التبريد، يتحول الكورديريت عالى الحرارة إلى النوع المنخفض الحرارة حيث يحدث له نوع من التشوه ويتحول من التبلور السداسى إلى التبلور المعينى القائم ذو المجموعة الفراغية $Cccm$ ، ويرجع ذلك إلى إستقرار ذرات الألومنيوم فى تناسق مرتب. بينما يكون الماغنيسيوم والحديد فى مواقع ثمانية الأوجه. ويحدث تغيير أيضاً فى أبعاد خلية الوحدة، حيث تكون الأبعاد 1.71×0.97 نانومتر بنسبة ١.٧٦%، وهى قيمة قريبة جداً للجزء التربيعى للرقم ٣. ولذلك تنقسم خلية الوحدة ثنائياً على شكل قريب جداً من مثلث قائم ٣٠-٦٠ درجة. يتواجد الكورديريت غالباً فى الطبيعة على هيئة المعينى القائم ذو درجة الحرارة المنخفضة وتماثل $Cccm$ (جيبس ١٩٦٦ Gibbs) والتركيب الكيميائية $(Mg.Fe)_2[Al_4Si_5O_{18}]$. غالباً ما يحيد الكورديريت عن هذا التركيب المثالى ويحتوى على كميات جديرة أن تأخذ فى الإعتبار من الصوديوم والجزئيات المتطايرة مثل بخار الماء وثانى أكسيد الكربون. تم إجراء دراسات عديدة للكورديريت الحديدوماغنيسيومي (جيبس ١٩٦٦ Gibbs، كوهين وآخرون ١٩٧٧ Cohen et al.، هوكيلا وآخرون ١٩٧٩ Hochella et al.، أرمبروستر ١٩٨٦ Armbruster)، ورغم ذلك فهناك الكثير من صفاته ما زالت غير واضحة.

فى الكورديريت المائى، تترك وحدات رباعى الأوجه قنوات مفتوحة موازية للوجه البلورى (100) والتي تحتوى غالباً على الماء، ولكن أقل شيوعاً ثانى أكسيد الكربون والبوتاسيوم والصوديوم. من أهم التغيرات فى محتوى البنية البلورية للكورديريت الماغنيسيومى من جراء عملية الانتقال من الهيئة السداسية إلى هيئة المعينى القائم هو عملية ترتيب ذرات الألومنيوم والسيليكون. تحت ظروف عدم الإتزان، يتم هذا الانتقال من خلال آلية مستمرة من تتابع حالات متوسطة بين الهيئتين والتي تتصف بمعامل التشوة d (مايشيرو ١٩٥٧ Miyashiro). تتراوح قيم المعامل d بين الصفر فى الكورديريت السداسي وحوالى ٠,٢٥ فى الكورديريت الماغنيسيومى المعينى القائم والذي يتصف بالترتيب الكامل. على أى حال، فإن التغير التركيبى من $P6/mcc$ إلى $Cccm$ يدل على أن الحالات المتوسطة تكون شبه مستقرة وأن التتابع المستمر من الكورديريت العالى إلى المنخفض يعكس بالضرورة بنىات محدودة المدى. يتشابه هذا الوضع للكورديريت مع حالة الفلسبار البوتاسى حيث يمثل كل من السانيدين والميكروكلين متعددى الشكل غير المرتب والمرتب على التوالى (بوتتيس وماكونيل ١٩٨٠ Putnis and McConnell).

كيمائية المعدن

يعتبر تركيب الكورديريت المتواجد طبيعياً أكثر تعقيداً ويمكن كتابة صيغته الكيميائية على النحو التالى (شراير ١٩٨٥):



حيث أن ch تعنى قناة Channel والتي تنشأ خلال البنية البلورية للكورديريت. يتعلق أحد هذه التعقيدات بدور الحديد الثنائى Fe^{2+} حيث أنه من المعروف أن معظم الحديد الثنائى Fe^{2+} يشغل الموقع M ثمانى الأوجه

(بيستروم ١٩٤٢ Byström). ورغم ذلك فإن هناك العديد من الدراسات التي تدل على أن الحديد الثنائي يمكن أن يشغل مواقع بنائية إضافية. كما اقترح بعض الباحثين أن الحديد الثنائي الإضافي Fe^{2+} يقع في فجوات القنوات أو في حلقات ذات ستة وحدات والتي تكون موازية للمحور "c" (جولدمان وآخرون ١٩٧٧ دانكان وجونستون ١٩٧٤ Duncan and Johnston). وعلى الجانب الآخر، اقترح بعض الباحثين أن الحديد الثنائي Fe^{2+} يحل محل السيليكون Si^{4+} والألومنيوم Al^{3+} بإحدى مواقع رباعي الأوجه (فانس وبرائيس ١٩٨٤ Vance and Price). يوضح الجدول رقم (٤-٥) التركيب الكيميائي للكورديريت من مناطق مختلفة.

جدول ٤-٥: التحليل الكيميائي للكورديريت.

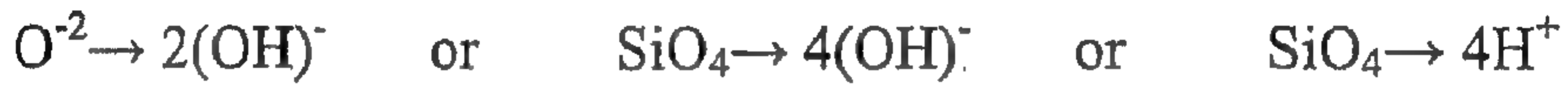
كاتيونات= ١٨ ذرة أكسجين							
٣	٢	١		٣	٢	١	
٤,٩٦	٤,٩٩	٤,٩١	Si	٤٩,٣٠	٤٨,٩٣	٤٥,٣٤	SiO ₂
٣,٩٦	٣,٩٨	٤,١٠	Al	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٢	TiO ₂
٠,٠٢	٠,٤١	١,٥٣	Fe ²⁺	٣٣,٣٩	٣٣,١١	٣٢,١١	Al ₂ O ₃
٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٧	Mn ²⁺	٠,٢٣	٤,٧٨	١٦,٨٩	FeO
٢,٠٩	١,٦٢	٠,٣٦	Mg	٠,٠٢	٠,٠٩	٠,٧٩	MnO
٠,٠٠٢	٠,٠٠	٠,٠٠	Ca	١٣,٩٤	١٠,٦٦	٢,٢٣	MgO
٠,٠٤	٠,٠٣	٠,١٢	Na	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٥	CaO
				٠,٢٠	٠,١٢	٠,٥٦	Na ₂ O
				١,٦٨	—	—	H ₂ O
				٩٨,٩٥	٩٧,٧١	٩٧,٩٩	المجموع

١= كورديريت من دولني بوري بجمهورية التشيك (Dolni Bory, Czech Republic) (جيجر وآخرون ٢٠٠٠ Geiger et al.).

٢= كورديريت من ساندسفال بالسويد (Sundsvall, Sweden) (جيجر وآخرون ٢٠٠٠ Geiger et al.).

٣= كورديريت طبيعي ومعالج حرارياً (مالشيريك وآخرون ٢٠٠١ Malcherek et al.).

حسب ما ورد عن سيوجيورا Sugiura (١٩٥٩) وأياما Iiyama (١٩٦٠)، فإن هناك نوعين من جزيئات الماء في تركيب الكورديريت والتي تم إستنباطه معملياً عن طريق حساب مقدار الفقد الوزني عند تسخين المعدن. فقد وجد أن هناك فقد تدريجي للوزن عند درجة حرارة أقل من ٥٠٠ درجة مئوية ويمثل هذا الفقد كمية الماء المتواجدة بقنوات البنية البلورية للكورديريت. بينما يؤدي التسخين فوق درجة حرارة أكثر من ٥٠٠ درجة مئوية إلى فقد وزني سريع والذي يمثل فقد لجزيئات الماء بالقنوات والأخرى التي تشغل مواقع رباعى الأوجه السيليكاتى من جراء إحدى عمليات الإحلال الأتية:



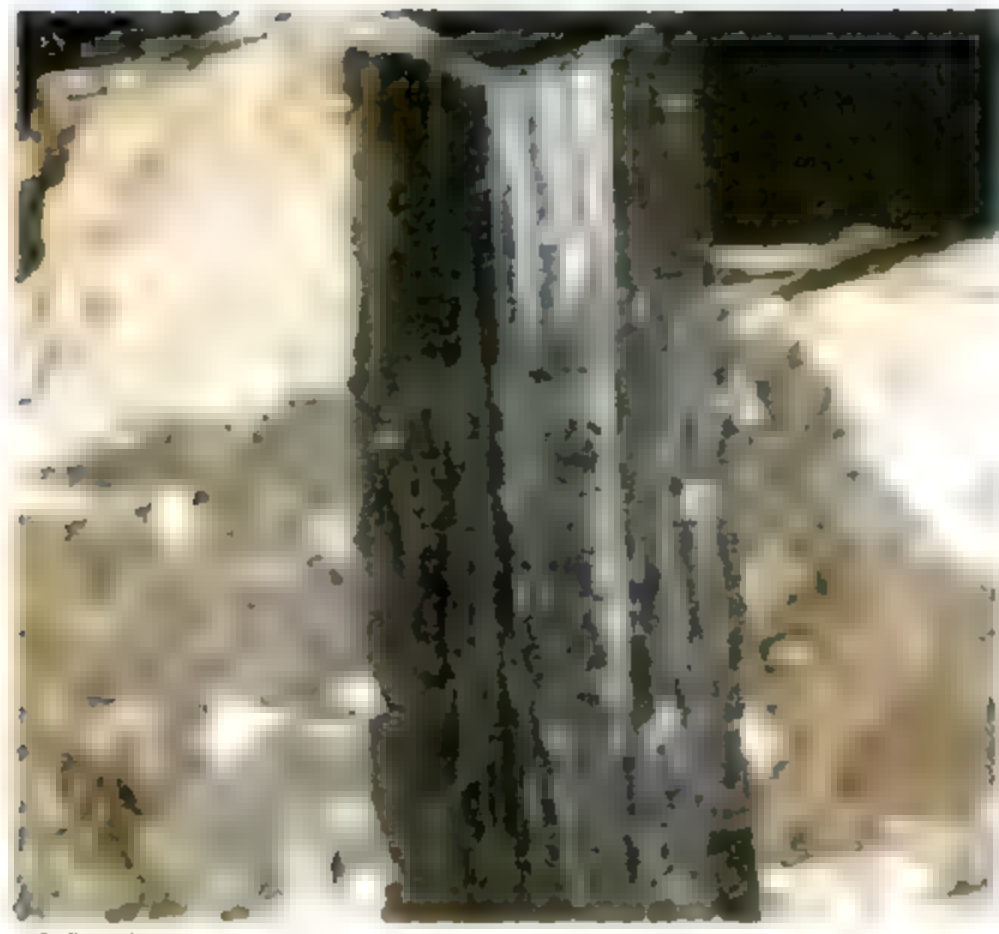
على الرغم من وجود الكثير من الدراسات التي تثبت تواجد جزيئات الماء في القنوات التركيبية للكورديريت فإن نوعين من الإحلالات المذكورة لم يتم التأكد منهما.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز الكورديريت باللون الأزرق والبنفسجى والرمادى والبني أو أحياناً عديم اللون (شكل ٤-١٩). البريق زجاجى والمخدش أبيض اللون. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. يتواجد الكورديريت على شكل كتلى أو حبيبات مضغوطة Compact مغموسة فى صخور متحولة مثل الشيست والنيس. أيضاً يتواجد كحبيبات فى رواسب الأودية. تتراوح الصلادة بين ٧-٧,٥ ويتراوح الوزن النوعي بين ٢,٦٠ و ٢,٦٦ والإنقسام ضعيف وفى إتجاه واحد {010} وذو مكسر شبه محارى.

تحت الميكروسكوب، ممكن أن نرى الكورديريت صافى اللون، أزرق أو بنفسجى شاحب. يتميز الكورديريت بظاهرة التغير اللونى حيث يظهر مدى لونه من الأزرق والبنفسجى إلى الرمادى أو عديم اللون. يتحلل المعدن عادةً إلى كتل دقيقة الحبيبات تسمى بينيت Pinnite وقد يتحلل أيضاً إلى معادن

الميكافا أو الكلوريت أو التلك حيث يصبح لونه مائلاً للأخضرار. من الناحية البصرية، فإن بلورة الكورديريت ثنائية المحور (- أو +)، حيث: ألفا (α) = ١,٥٤، بيتا (β) = ١,٥٥، جاما (γ) = ١,٥٦، قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٢ والزاوية البصرية ($2V$) = ٦٥-١٠٥°. تتغير معاملات الانكسار بتغير تركيب الكورديريت والذي يعتمد إلى حد كبير على نشأته سواء كانت في صخور نارية جوفية أو بيجماتيتية أو عروق كوارتز أو صخور بركانية أو متحولة.



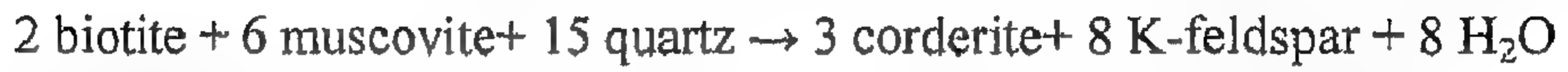
شكل ٤-١٩: كورديريت ذو لون أزرق ورمادي.

من الممكن أن تكون التوأمية بالكورديريت من النوع البسيط أو شرائحي Lameller أو حلقي Cyclic أو معقدة. في التوأمية الحلقية، تشع المستويات التركيبية من نقطة مركزية بزوايا ٣٠، ٦٠، ١٢٠ درجة. وتتحصر التوأمية المعقدة للكورديريت للأنواع المتواجدة بصخور النيس ذات الأصل الرسوبي تحت ظروف عالية من درجة الحرارة، بينما توجد التوأمية البسيطة للمعدن في الصخور ذات درجة الحرارة المنخفضة. يحتوي الكورديريت أحياناً على مكتنفات من بلورات صغيرة من الزركون والأباتيت والتي غالباً ماتكون محاطة بفجوات متغيرة اللون Pleochroic halos ذات لون أصفر غامق بالأجزاء الخارجية، وتكون أفتح لوناً بالأجزاء الداخلية.

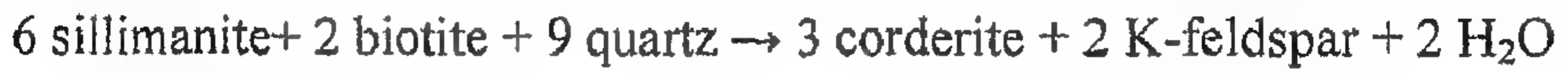
التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الكورديريت بالصخور الطينية المتحولة تماسياً وكذلك بنطاقات التحول الأقليمي العالي الدرجة مثل صخور الشيست والنيس والجرانيوليت

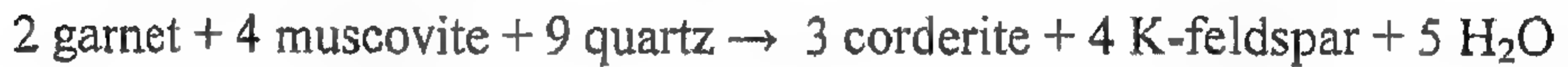
وكذلك بالصخور النارية مثل الجرانيت والنوريت وأيضاً برواسب الأودية. يزداد تواجد الكورديريت في الصخور البيليتية الغنية بالألومنيوم بسحنة الهورنبلند هورنفلس السفلى حسب التفاعلات التالية:



فلسبار بوتاسي كورديريت كوارتز مسكوفيت بيوتيت



فلسبار بوتاسي كورديريت كوارتز بيوتيت سيليمانيت

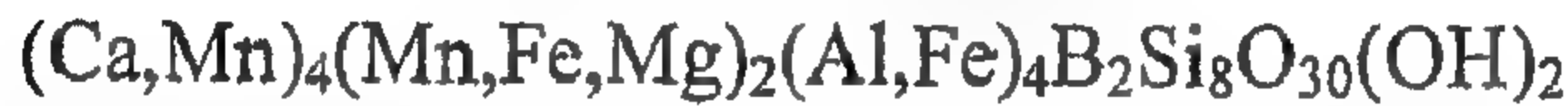


فلسبار بوتاسي كورديريت كوارتز مسكوفيت جارت

هناك أماكن عديدة لتواجدات الكورديريت ومنها: منطقة بوديناميس بافاريا Bodenamis Bavaria بألمانيا وفنلندا والنرويج ومدغشقر وزيمبابوي وسيريلانكا والهند وأستراليا والولايات المتحدة الأمريكية وكندا.

الاستخدامات: يستعمل المعدن في صناعة السيراميك والطوب الحراري.

الأكسينيت Axinite

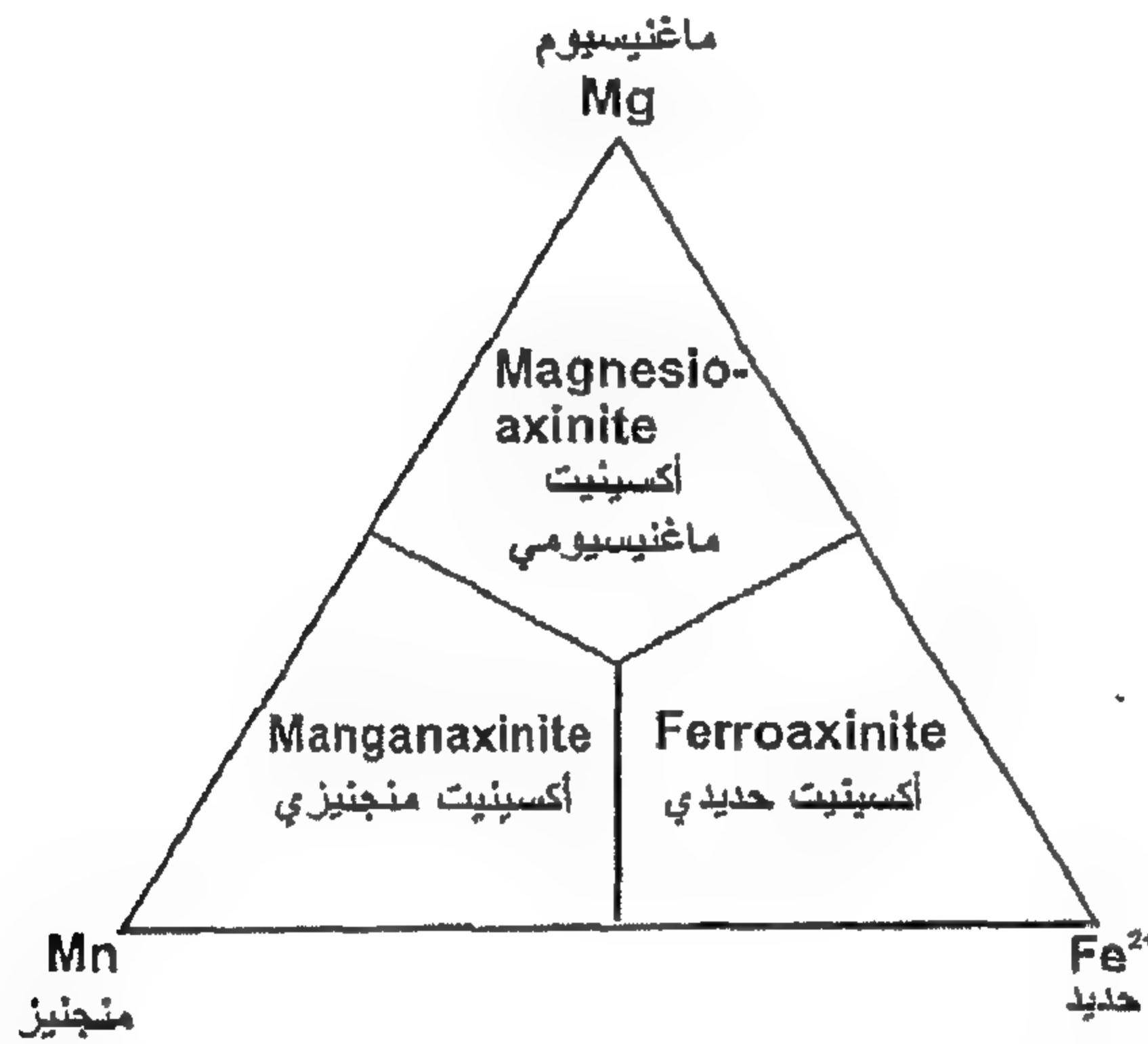


تعتبر معادن الأكسينيت من الأصناف المعدنية المعقدة والتي تتواجد بالبيئات المتحولة منخفضة إلى متوسطة الدرجة. يعد الأكسينيت أحياناً المعدن الوحيد الممثل لسيليكات البورون بالصخور المتحولة حيث أنه يعتبر بديلاً للتورمالين بالصحبات الفقيرة في الألومنيوم والغنية بالكالسيوم. يطلق اسم الأكسينيت على سلسلة من المعادن المتشابهة بنائياً حيث أن جميعهم لهم نفس البنية البلورية مع الاختلاف في التركيب الكيميائي. يتم تسمية معادن الأكسينيت بناءً على محتواها أو إثراءها ببعض العناصر مثل الحديد والماغنسيوم والمنجنيز، فيماعد معدن التينزينيت Tinzenite. تتمثل أعضاء سلسلة معادن الأكسينيت في شكل رقم (٤-٢٠):

- الأكسينيت الحديدي Ferro-axinite: غنى بالحديد وذو لون بني إلى

أسود

- الأكسينيت الماغنيسيومي Magnesio-axinite: غنى بالماغنسيوم، ذو لون أزرق شاحب إلى رمادى.
- الأكسينيت المنجنيزى Mangano-axinite: غنى بالمنجنيز، ذو لون أصفر إلى برتقالى.
- التينزينيت Tinzenite: غنى بالحديد والمنجنيز، أصفر اللون.



شكل ٤-٢٠: مثلث يبين الأنواع المختلفة لمجموعة الأكسينيت حسب محتواها من الماغنسيوم والحديد والمنجنيز.

البنية البلورية

يتبلور الأكسينيت فى فصيلة الميول الثلاثة، نظام المسطوح، حيث: أ= ٧,١٤٣٧، ب= ٩,١٨٩٨، ج= ٨,٩٥٢٩ أنجستروم. مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)= ٢ ومجموعة النقطة 1 والمجموعة الفراغية P1. توجد البلورات على هيئة رفيعة حادة مثل نصل السكين وأيضاً على شكل كتلى وصفائحي أو حبيبات. تتمثل البنية البلورية لمعادن الأكسينيت فى تتابع من الكاتيونات المتناسقة بوحدات رباعى الأوجه وثمانى الأوجه، حيث تتصل وحدتى رباعى الأوجه السيليكاتى (Si₂O₇) بوحدتى رباعى الأوجه للبورات BO₄ لتكوين حلقة ذات ستة وحدات. هناك أيضاً مجموعتين إضافيتين من السيليكات الثنائية

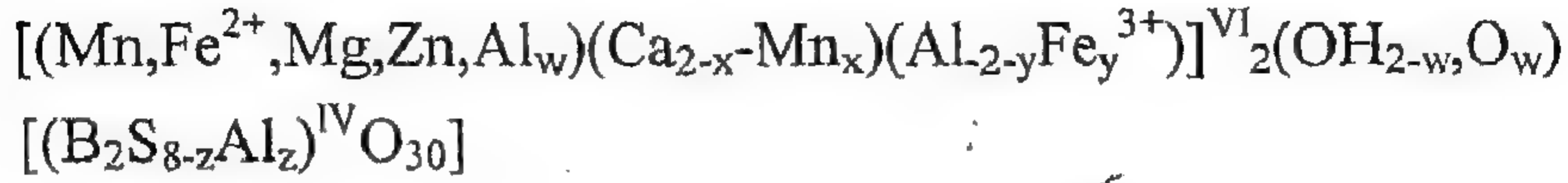
تشارك في أركانها رباعي الأوجه للبورات BO_4 ، لتكون تجمع مستوى من $B_2Si_8O_{30}$. يظهر ثمانى الأوجه تشوهاً قليلاً حيث يتم ملئ أربعة منه بذرات الألومنيوم ويملىء اثنين بالمنجنيز والحديد أو الماغنسيوم، وتتشارك حوافهم ليكونوا سلسلة لا نهائية ذات ستة وحدات Six-membered. يتم الربط بين هذه السلاسل عن طريق ثمانى الأوجه.

كيمياء المعدن

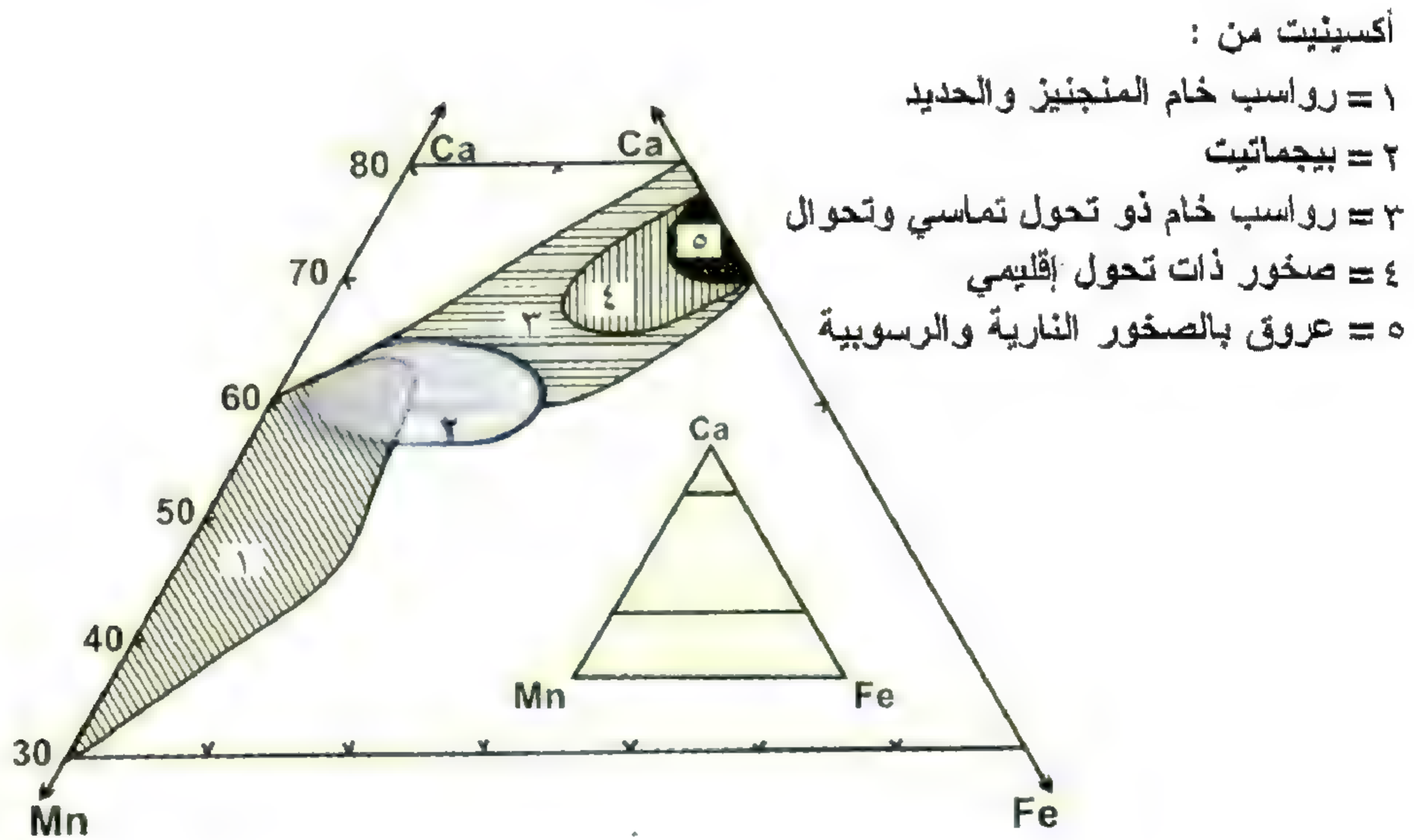
يعد التعرف على التركيب الكيميائي لمجموعة معادن الأكسينيت عملية معقدة لحد ما وذلك لصعوبة تحديد نسبة الحديد الثلاثى إلى الثنائى Fe^{3+}/Fe^{2+} وأيضاً صعوبة القياس الكمي للعناصر الخفيفة مثل البورون والهيدروجين. يتشابه ذلك مع معادن التورمالين من حيث دقة التحاليل باستخدام جهاز المسبار الإلكتروني. لقد أكدت الدراسات السبيكتروسكوبية أن معظم الحديد بمعادن الأكسينيت يتواجد على شكل حديد ثنائى Fe^{2+} (تاكاشيما وأوهاشى ١٩٦٨ Takashima and Ohashi، بيزكا وكراكزيكا ١٩٩٤ Pieczka and Kraczka). كما سبق ذكره بالنسبة لكيمياء التورمالين، فإن معظم القياسات الكيميائية للأكسينيت خلال السنوات القليلة الماضية كانت غير كاملة وذلك لصعوبة قياس عناصر البورون والهيدروجين (دير وآخرون ١٩٨٦). حديثاً، حدث تقدم تكنولوجي في بعض وسائل التقنيات العملية مثل جهاز مطياف الكتلة Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) وجهاز المسبار الإلكتروني وجهاز تفلر الأشعة السينية X-Ray Fluorescence وأجهزة أخرى، مما أدى إلى زيادة دقة قياس العناصر الخفيفة بمعادن السيليكات.

بحث أوزاكي Ozaki (١٩٧٠، ١٩٧٢) العلاقة بين تواجد الأكسينيت وتركيبه الكيميائي. حيث تمكن من تمييز خمس تواجدات مختلفة، هي: رواسب خامات غنية بالمنجنيز والحديد والبيجماتيت ورواسب خامات بيئات التحول التلامسي والتحوال وصخور التحول الإقليمي والعروق بالصخور النارية والرسوبية. يوضح شكل رقم (٤-٢١) أن المحتوى المنجنيزي للأكسينيت يقل بالترتيب المذكور سابقاً حسب نوع الصخر، رغم وجود

بعض التطابق. لقد فسر أوزاكي هذا التغير التركيبي على أنه راجع إلى تركيب الصخر الأصلي. أقترح لامبكين وريبي (١٩٧٩) Lumpkin and Ribbe الصيغة العامة لمجموعة معادن الأكسينيت وهي:



حيث أن $w > 1$ ، $x > 1$ ، $y > 1$ ، $z > 1$ ويمثل VI و IV تناسق الكاتيونات. يطلق اسم الأكسينيت الحديدي $[\text{Fe}^{2+}\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})]$ على الأكسينيت المحتوى على كالسيوم أكبر من ١,٥ (بوحدة الصيغة Per formula unit) وحديد أكبر من المنجنيز، بينما يطلق اسم الأكسينيت المنجنيزي $(\text{Mn}^{2+}\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH}))$ على الأنواع التي تحتوي على كالسيوم أكبر من ١,٥ ومنجنيز أكبر من الحديد (سانيرو وجوتاردى ١٩٦٨ Sanero and Gottardi). بينما يطلق اسم التينزينيت على الأنواع التي تحتوي على كالسيوم أكبر من ٢ وأقل من ٤ ومنجنيز أكبر من الحديد والذي يقابل الصيغة $(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe})_3\text{Al}_2\text{BO}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}(\text{OH})$.



شكل ٢١-٤: مثلث لعناصر المنجنيز-الكالسيوم-الحديد يوضح مدى التغير في تركيب الأكسينيت بالتواجدات الصخرية المختلفة.

جدول ٤-٦: أمثلة لبعض التحاليل الكيميائية للأكسينيت.

٥	٤	٣	٢	١	
٤٤,٨٠	٤٢,١٠	٤٢,٣٠	٤١,٧٠	٤٢,٣٠	SiO ₂
٦,٥٠	٦,٣٠	٦,١٠	٦,٣٠	٦,١٠	B ₂ O ₃
١٨,٩٠	١٧,٧٠	١٧,٨٠	١٧,٥٠	١٧,٩	Al ₂ O ₃
٠,٠٠	١٠,٦٠	٨,٧٠	٩,٤٠	٤,٩٠	FeO
٧,١٨	١,٠٧	٠,١٩	٠,٧٤	١,٢١	MgO
٠,٥٠	٠,٤٠	٤,٧٠	٢,٨٨	٦,١٥	MnO
٢٠,٦٠	١٩,٣٨	١٨,٩٠	١٩,٠٦	١٩,٣٠	CaO
١,٦٠	١,٦٠	١,٤٠	١,٣٠	١,٥٠	H ₂ O
١٠٠,١	٩٩,٢٠	١٠٠,١	٩٨,٩٠	٩٩,٤٠	المجموع

(أكسجين، هيدروكسيل OH, O) كاتيونات=٢٢

٤	٧,٩٩	٨,٠١	٧,٩٨	٨,٠٠	Si
٢,٠٠	٢,٠٧	١,٩٩	٢,٠٧	٢,٠٠	B
٤,٠٠	٣,٩٥	٣,٩٨	٣,٩٤	٤,٠٠	Al
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٢٢	٠,١٩	٠,٠٨	Fe ³⁺
٠,٠٠	١,٦٨	١,١٦	١,٣٢	٠,٦٩	Fe ²⁺
١,٩٢	٠,٣٠	٠,٠٥	٠,٢١	٠,٣٤	Mg
٠,٠٧	٠,٠٦	٠,٧٥	٠,٤٧	٠,٩٨	Mn
٣,٩٦	٣,٩٤	٣,٨٤	٣,٩١	٣,٩٠	Ca
١,٩٠	٢,٠٠	١,٨٠	١,٧٠	١,٩٠	OH ⁻

١= أكسينيت من بوج دي أوزان، فرنسا (Bourg d'Oisans, Isère, France).

٢= أكسينيت من روزبيرري، تازمينيا، أستراليا (Rosebery, Tasmania, Australia).

٣= أكسينيت من هاجيكامي، اليابان (Hajikami, Japan).

٤= أكسينيت من سريلانكا (Sri Lanka).

٥= أكسينيت من تنزانيا (Tanzania).

بيانات التحاليل الكيميائية عن أندريوزي وآخرون (٢٠٠٠) Andreozzi et al.

أوضح أوزاكي (١٩٦٩، ١٩٧٢) ولامبكين وريببي (١٩٧٩) Lumpkin and Ribbe أن عملية الإحلال خلال مجموعة معادن الأكسينيت تتم من خلال سلسلتين، إحداهما من الأكسينيت الحديدي إلى الأكسينيت المنجيزي،

والأخرى من الأكسينيت المنجنيزي إلى التينزينيت. تعتمد عملية الإحلال بين عناصر المنجنيز والحديد والماغنسيوم والمنجنيز والكالسيوم على الفرق في نصف القطر الأيوني بينهم وأيضاً على ظروف درجة الحرارة، حيث يتم تبادل محلول صلب مستمر بين الأكسينيت والتينزينيت تحت ظروف معادلة لسحنة الأمفيبوليت. عند درجات الحرارة المنخفضة، يحدث نوع من الفجوة الإمتزاجية Miscibility gap بسلسلة معادن الأكسينيت معتمدة على التركيب الكلي للصخر. وعلى عكس ذلك فإن هذه الفجوة تختفي في المحلول الصلب Solid-solution عند درجات الحرارة العالية.

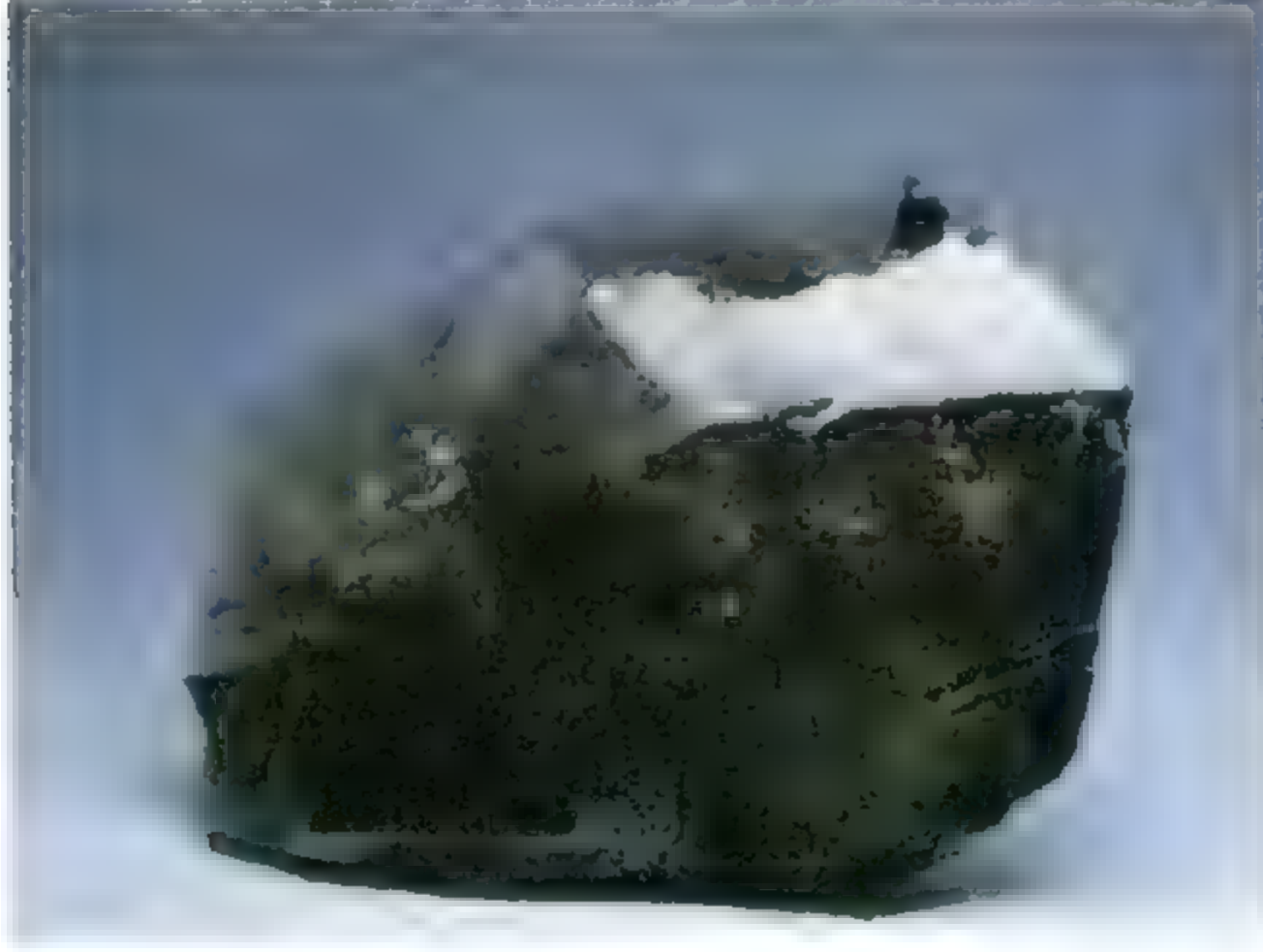
الصفات الفيزيائية والبصرية

تختلف ألوان معادن الأكسينيت حسب محتواها من عناصر الحديد والماغنسيوم والمنجنيز. يتراوح اللون بين البنى والأصفر والأصفر البرتقالي والرمادي والأزرق الشاحب إلى الأسود (شكل ٤-٢٢). البريق زجاجي. المخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة ٦-٧,٥ والوزن النوعي ٣-٣,٤. يتميز الأكسينيت بانفصام جيد باتجاه واحد. المعدن ثنائي المحور سالب. معاملات الانكسار: ألفا $(\alpha) = 1,674 - 1,693$ وبيتا $(\beta) = 1,681 - 1,701$ وجاما $(\gamma) = 1,684 - 1,704$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,009 - 0,011$ والزاوية البصرية $(2V) = 63 - 80^\circ$.

التواجدات والصحبة المعدنية

تم التعرف على الأكسينيت المنجنيزي بمنطقة فرانكلين بأمريكا بواسطة جينس وآخرون عام (١٨٩١) Genth et al. كما تم التعرف أيضاً على هذا النوع بمنطقة ستيرلنج هيل بأمريكا Sterling Hill. يتواجد الأكسينيت المنجنيزي بمنطقة فرانكلين ضمن الصحبة المعدنية لصخور فرانكلين أو كمعدن إضافي لصحبة السيليكات الكلسية. بينما في منطقة ستيرلنج هيل، فإنه متواجد مع الصحبة المعدنية رودونيت وإبيدوت وكالسيت وهولانديت. وقد تم التعرف لأول مرة على الأكسينيت بالصخور المتحولة منخفضة الدرجة

عام (١٩٤٤) بواسطة كوجيما Kojima بحزام سامباجوا المتحول Sambagawa باليابان. يتواجد الأكسينيت بمنطقة سامباجوا بالطبقات الغنية بالسبيلانوميلان (نوع من البيوتيت) Stiplanomelan وبصخر الشيست الأخضر.



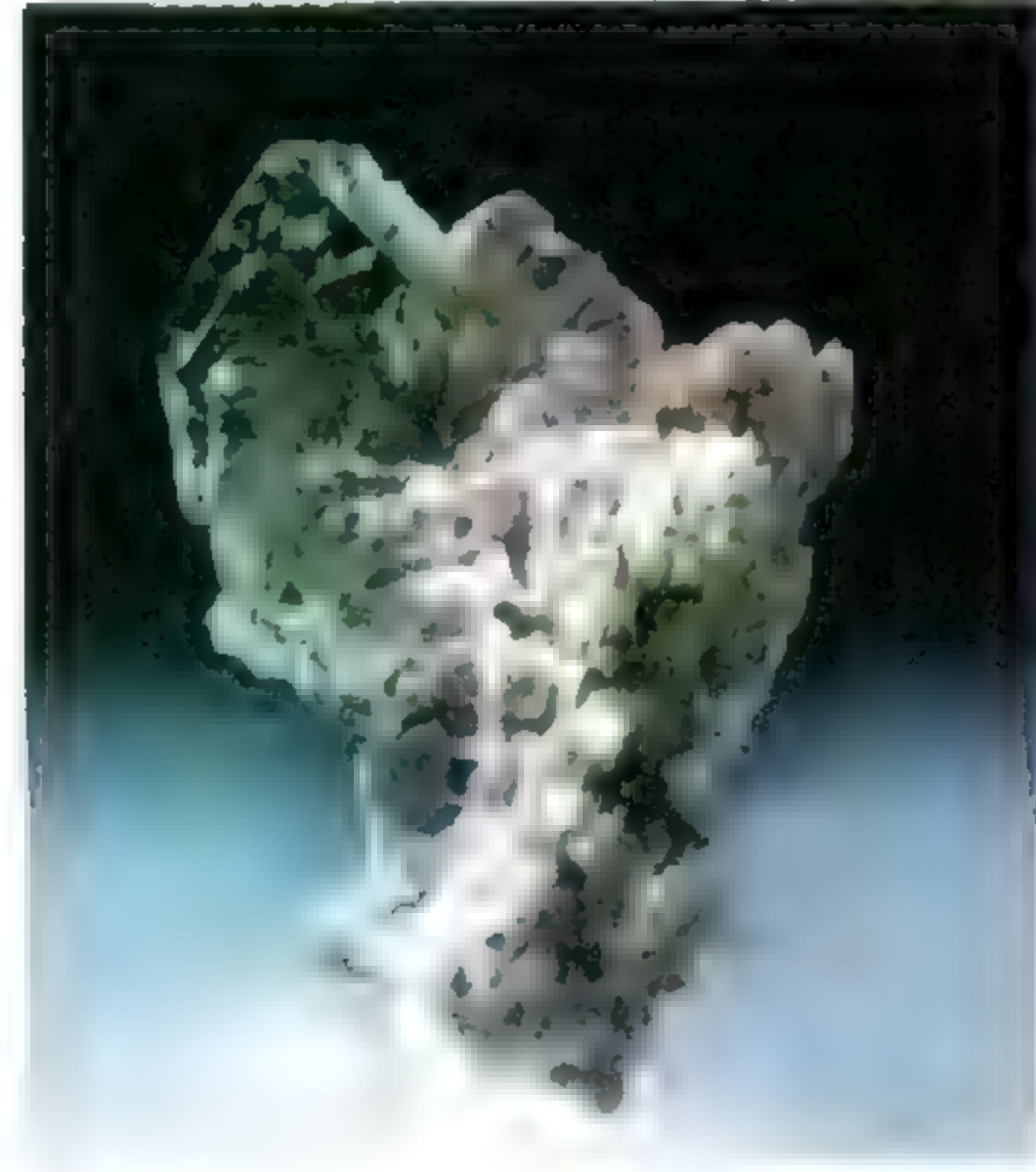
أكسينيت



أكسينيت حديدي



أكسينيت ماغنيسيومي



أكسينيت حديدي على إبيدوت أخضر اللون

شكل ٤-٢٢: أكسينيت حديدي وماغنيسيومي.

كما تم التعرف على الأكسينيت المنجنيزي بصخور سحنات الشيست الأزرق والشيست الأخضر بنطاق سانجن Sangun المتحول بجنوب غرب اليابان (نوريكي ١٩٦٧ Nureki) حيث يتواجد كابورفيرو بلاست. كما يتواجد الأكسينيت الحديدي بعروق في الصخور المتحولة ومصاحباً لمعادن الكوارتز والكالسيت بصخور الأمفيبوليت والصخور النارية القاعدية المتداخلة. بشكل عام تتواجد معادن الأكسينيت بالصخور ذات التحول الأقليمي لسحنات أعلى من الزيوليت، كما يوجد أيضاً بصخور متحولة ذات

درجة منخفضة كما هو الحال في نيوزيلندا. يتواجد الأكسينيت أيضاً بالصخور ذات التحول التلامسي حيث تكون هناك فرصة لحدوث عمليات تحوال (تحول سائلي) والتي تسمح بتداخل البورون بالرواسب الجيرية المجواه أو بصخور نارية قاعدية حيث تمر هذه الصخور بعمليات تغاير Alteration مع تكون كالسيت قبل التحول. المعادن المصاحبة هي: التورمالين والكالسيت والأكتينوليت والزوسيت والبريهنيت.

الباب الخامس

المعادن السيليكاتية السلسلية

Inosilicates

فى هذه المعادن، ترتبط وحدات رباعى الأوجه السيليكاتى على هيئة سلسلة غير محددة الإمتداد، قد تكون مفردة كما هو الحال فى مجموعة معادن البيروكسين والبيروكسينويد حيث ترتبط وحدات رباعى الأوجه مع بعضها عن طريق مشاركة ذرتى أكسجين لكل وحدتين متجاورتين أو تكون مزدوجة كما هو الحال فى معادن الأمفيبول حيث ترتبط السلاسل جانبياً وفوق بعضها البعض بواسطة عناصر أخرى مثل الكالسيوم والماغنسيوم لتكوّن تركيباً مستمراً فى الأبعاد الثلاثة (أنظر شكل ١-١٠).

مجموعة البيروكسين Pyroxene Group

أُشتق اسم البيروكسين من كلمتين إغريقيتين بمعنى نار *pyro* وغريب *xene* ويرجع هذا الاسم إلى وجوده كبلورات مغموسة بالزجاج البركانى. إعتقد القدماء أن هذه البلورات عبارة عن شوائب بالزجاج وأطلقوا عليها اسم "غريب النار". تُعتبر مجموعة البيروكسين من أهم مجاميع معادن السيليكات الحديدوماغنيسية والتي توجد كأصناف مستقرة بمعظم أنواع الصخور النارية. كما توجد بالصخور المتحولة، سواء التحول التلامسي أو التحول الإقليمي. تتميز مجموعة معادن البيروكسين بانتشار واسع وكيميائية متغيرة وسهولة تغيرها من صنف إلى آخر، كل هذه الصفات جعلت منها معادن متميزة حيث تستخدم كمقياس حرارة أو مقياس ضغط. تتبلور معادن البيروكسين فى فصيلتى الميل الواحد والمعينى القائم. تعتبر المعادن المتبلورة بفصيلة المعينى القائم أبسط معادن البيروكسين من الناحية الكيميائية حيث تكوّن سلاسل من محلول صلب $[(Mg,Fe)SiO_3]$ ، بينما تظهر المعادن المتبلورة فى فصيلة الميل الواحد مدى واسع من التغيرات فى تركيبها الكيميائى.

نظراً لما تحتويه مجموعة معادن البيروكسين من بنية بلورية معقدة وأيضاً تنوع فى التركيب الكيميائى، فقد تم دراسة هذه المعادن بشكل مكثف

من قبل المهتمين بعلم المعادن وساعد على ذلك التقدم في وسائل التقنيات العملية الحديثة. علاوة على ذلك، فإن فهم التركيب الكيميائي لمجموعة معادن البيروكسين والبنية البلورية وعلاقات الأصناف ببعضها يساعد إلى حد كبير في فهم النشأة والتاريخ الحراري للعديد من الصخور التي تتواجد بها.

البنية البلورية

تتمثل الصيغة الكيميائية العامة لطائفة معادن البيروكسين في:

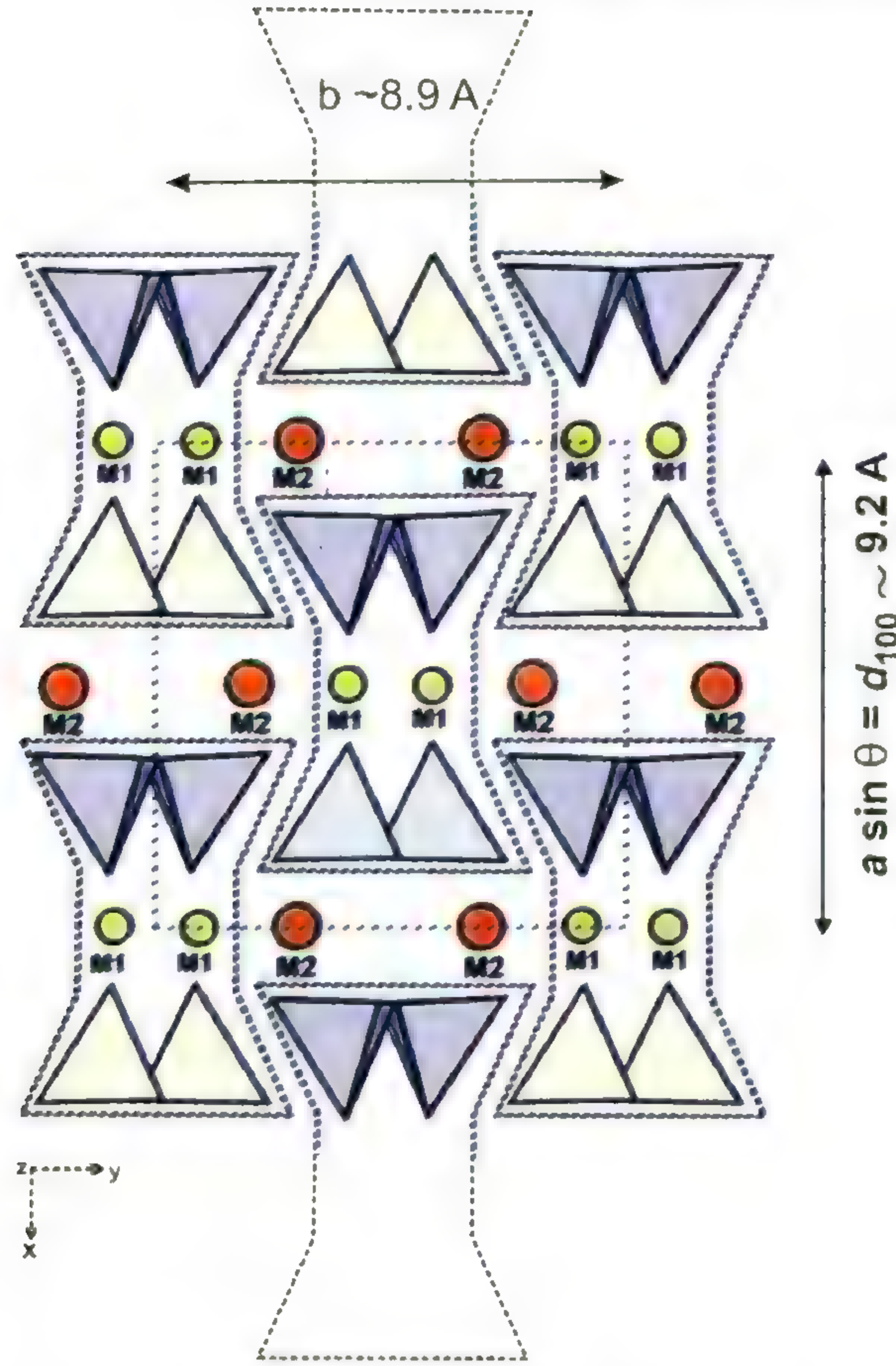


حيث M1: تمثل أيونات ذات حجم أيوني صغير مثل الكروميوم والألومنيوم والحديد الثلاثي والماغنسيوم والمنجنيز والسكانديوم والتيتانيوم والفانديوم. رغم أن الألومنيوم يحل محل السيليكون في العديد من معادن السيليكات، إلا أن هذا لا يحدث غالباً في حالة البيروكسين.

M2: تمثل أيونات الكالسيوم والصوديوم والحديد الثنائي والماغنسيوم، كما تمثل أحياناً، بشكل نادر، منجنيز وليثيوم.

T2: سيليكون وألومنيوم وحديد ثلاثي.

تتكون البنية البلورية للبيروكسين من سلاسل لرباعيات الأوجه SiO_4 . تمتد هذه السلاسل موازية للمحور البلوري "c". تتراص كل سلسلة من رباعيات الأوجه في اتجاه عكس الأخرى، بحيث تقابل قمم رباعي الأوجه في أحد السلاسل قمم رباعي الأوجه بالسلسلة الأخرى، كما يقابل قواعد رباعي الأوجه بأحد السلاسل قواعد رباعي الأوجه بالسلسلة الأخرى. يسمح هذا التركيب بتكوين موقعين أساسيين بالبنية البلورية للبيروكسين، الأول يسمى موقع ثماني الأوجه M1 حيث يتواجد بين قمم رباعيات الأوجه، والثاني يسمى موقع ثماني الأوجه M2 والذي يشغل الفراغ الكائن بين قواعد رباعيات الأوجه (شكل ٥-١).

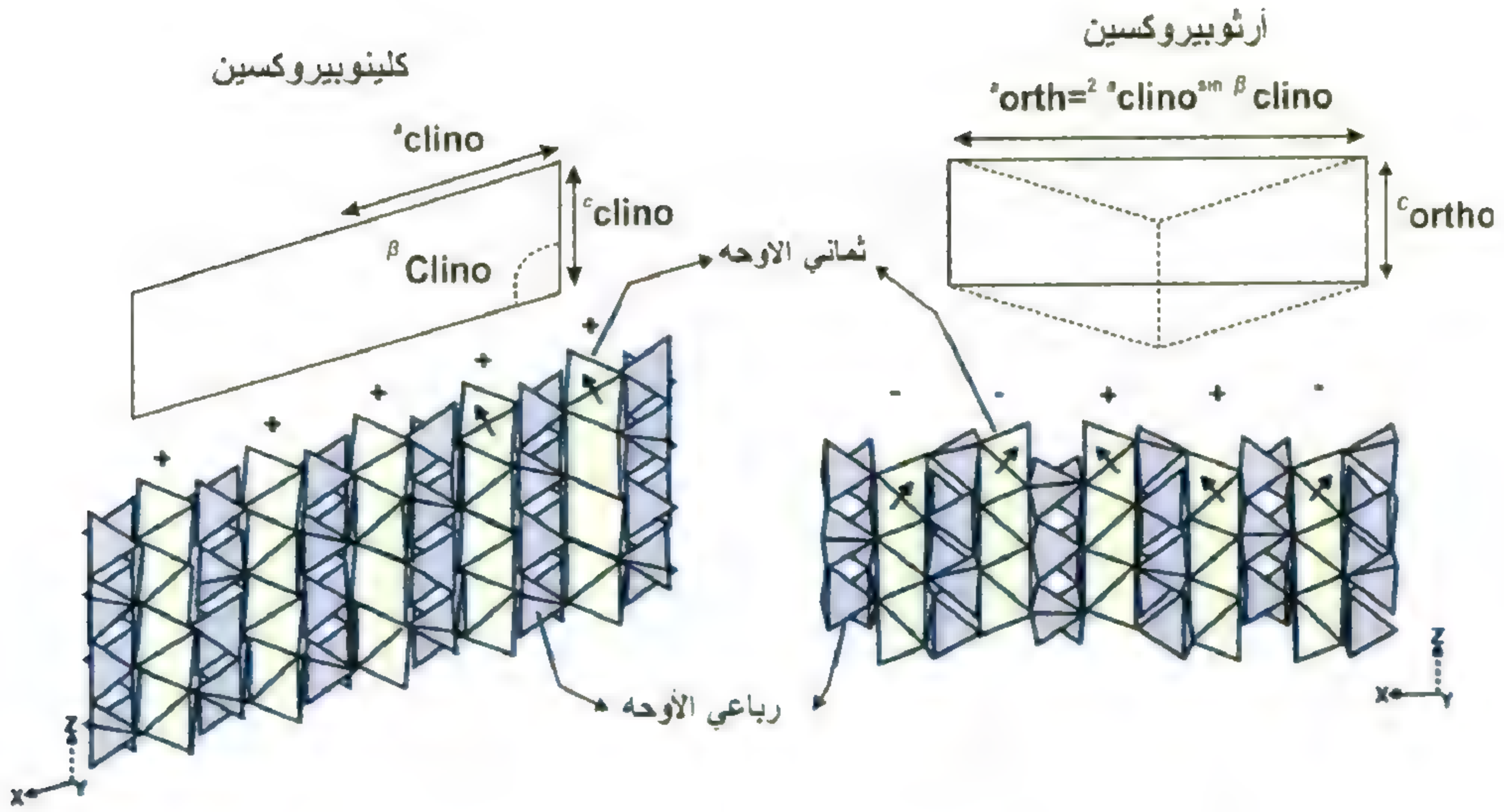


شكل ٥-١: البنية البلورية للبيريوكسين.

(<http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>)

تؤدي عملية الإحلال بين هذه الأيونات إلى إحداث نوع من التشوه للسلاسل مما يؤدي إلى إحداث تغير في أبعاد خلية الوحدة ومن ثم تغير بنظام التناثر. هناك نوعين أساسيين من البيريوكسين، أحدهما يتبلور بفصيلة الميل الواحد (كلينوبيريوكسين Clinopyroxene) وله مجموعة فراغية C2/C، والآخر يتبلور بفصيلة المعيني القائم (أورثوبيريوكسين Orthopyroxene) وله مجموعة فراغية Pbc. تختلف البنية البلورية لنوعي البيريوكسين في طريقة ترتيب السلاسل Chains الموازية للمحور البلوري "c" (شكل ٥-٢). يتضح من هذا الشكل الاختلاف في طريقة رص مواقع ثمانية الأوجه M1، حيث يوجد احتمالين لعملية الرص (يرمز لهما بالرمز + و - في هذا الشكل). في

حالة الكلينوبيروكسين، تتخذ جميع ثمانية الأوجه إتجاه واحد (+). على عكس ذلك، تتخذ ثمانية الأوجه في حالة الأرثوبيروكسين طبقات ذات إتجاه مختلف في تتابع --++ --++ --++.



شكل ٥-٢: طريقة رص مواقع ثمانية ورباعي الأوجه بالبنية البلورية لنوعي البيروكسين.

(<http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>)

كيميائية معادن البيروكسين وتصنيفها

تُعطي البنية السيليكاتية المتسلسلة لمجموعة معادن البيروكسين نوع من المرونة في إشراك أنواع مختلفة من الكاتيونات مما يجعل تصنيف هذه المجموعة مبني بالدرجة الأولى على التركيب الكيميائي. تُصنف معادن البيروكسين بناءً على ما تشغله هذه الكاتيونات من مواقع لثمانى الأوجه (M1 و M2) وكذلك الموقع رباعي الأوجه T. في ضوء ذلك، فقد تم تصنيف البيروكسين إلى خمس مجاميع تحتية Sub-groups (جدول ٥-١):

١- بيزوكسين ماغنسيومي- حديدي Magnesium- iron pyroxene، حيث يشغل أيوني الماغنسيوم والحديد النسبة الكبرى بالموقعين M1 و M2، بينما تشغل باقى الأيونات نسبة أقل من ١٠% من هذه المواقع.

٢- بيروكسين كالسي *Calcic pyroxene*، حيث يشغل الكالسيوم أكثر من ثلثي مواقع ثمانى الأوجه M2.

٣- بيروكسين صودي كالسي *Sodic- Calcic pyroxene*، حيث يشغل أيوني الصوديوم والكالسيوم معظم مواقع M2، مع شغل الموقع M1 بكاتيونات الماغنيسيوم والحديد الثنائي والألومنيوم والحديد الثلاثي.

٤- بيروكسين صودي *Sodic pyroxenes*، حيث يشغل أيون الصوديوم معظم مواقع M2، مع شغل الموقع M1 بكاتيونات الألومنيوم والحديد الثلاثي والكروميوم.

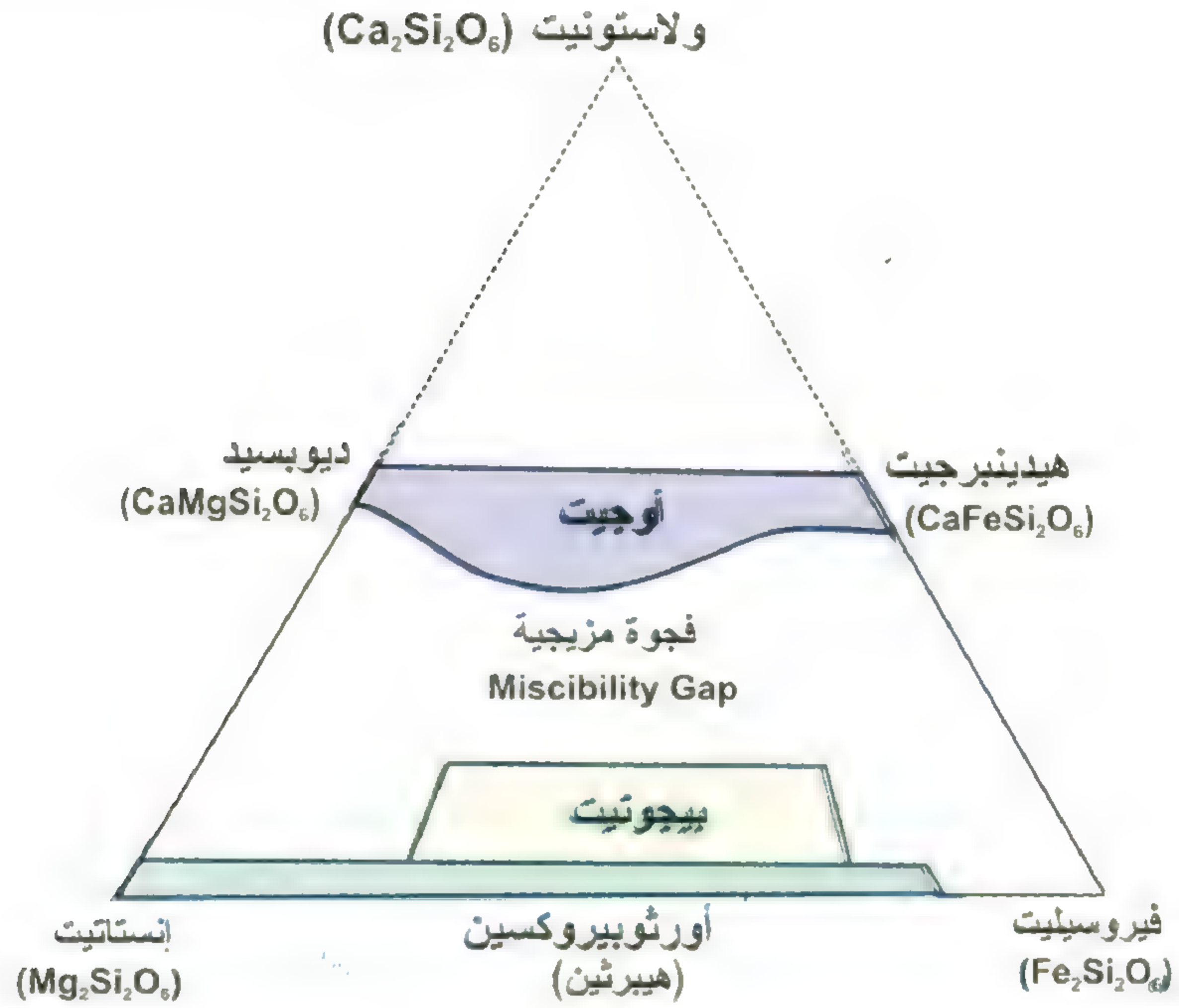
٥- بيروكسين غني بالليثيوم *Lithium-pyroxene*، حيث يشغل كاتيون الليثيوم معظم مواقع M2، مع شغل الموقع M1 بكاتيون الألومنيوم.

تتميز هذه المجاميع التحتية بوجود نوع من سلاسل تفاعلات المحلول الصلب *Solid solution* بينها مما يسمح بتكون معادن ذات تركيب كيميائي متوسط. تحتوى سلسلة الإنستاتيت-الفيروسيليت $[(Mg,Fe)SiO_3]$ على حوالي ٥ % نسبة جزيئية % mole من الكالسيوم (شكل ٥-٣). تحتوى هذه السلسلة على ثلاثة من متعددتي الشكل، هم: أرثوإنستاتيت، بروتوإنستاتيت (فصيلة المعينى القائم) والكلينوإنستاتيت (يتبلور بفصيلة الميل الواحد ويعادل معدن الفيروسيليت). تؤدي زيادة نسبة الكالسيوم إلى عدم تكون المعادن المتبلورة بفصيلة المعينى القائم، ويسمح بتكون معدن البيجونيت المتبلور بفصيلة الميل الواحد. كما يتكون الأوجيت مع زيادة النسبة الجزيئية للكالسيوم ويوضح هذا الشكل الحد الفاصل (أكثر من ٤٥% نسبة جزيئية للكالسيوم) بين الأوجيت وبين سلسلة المحلول الصلب للديوبسيد-هيدينبرجيت $(CaMgSi_2O_6)$ وحيث أن أيون الكالسيوم لا يستطيع أن يشغل أكثر من ٥٠% (نسبة جزيئية) من الموقع M2 بالبنية البلورية للبيروكسين، فإن معدن الولاستونيت يمثل العضو النهائي المفترض لهذه المجموعة، ولكن الولاستونيت له بنية بلورية مختلفة مما يجعل تصنيفه يتبع مجموعة أخرى

من المعادن تسمى باسم مجموعة البيروكسينويد (سوف نعرض لها لاحقاً بهذا الباب).

جدول ٥-١: تصنيف البيروكسين.

نظام التبلور	المعادن	T_2O_6	M1	M2	المجموعة التحتية Sub-group
المعنى القائم	أرثوبيروكسين إنستاتيت - Enstatite فيروسيليت Ferrosillite	Si_2O_6	Mg, Fe	Mg, Fe	بيروكسين ماغنسيومي- حديد
الميل الواحد	كلينوبيروكسين منخفض الكالسيوم بيجونيت Pigeonite	Si_2O_6	Mg, Fe	Mg, Fe, Ca	كلينوبيروكسين كالسي
	ديوبسيد - Diopside هيدنبرجيت Hedenberrgite	Si_2O_6	Mg, Fe	Ca	
	أوجيت Augite	$(Si, Al)_2O_6$	Mg, Fe, Al		
	أومفاسيت Omphacite	Si_2O_6	Mg, Fe ²⁺ , Al, Fe ³⁺	Ca, Na	كلينوبيروكسين صودي كالسي
	إيجيرين-أوجيت Agerine-Augite	Si_2O_6	Mg, Fe ²⁺ , Fe ³⁺		كلينوبيروكسين صودي
	جاديت Gadite	Si_2O_6	Al		
	إيجيرين Agerine	Si_2O_6	Fe ³⁺	Na	
	سبوديومين Spodumene	Si_2O_6	Al	Li	كلينوبيروكسين غني بالليثيوم



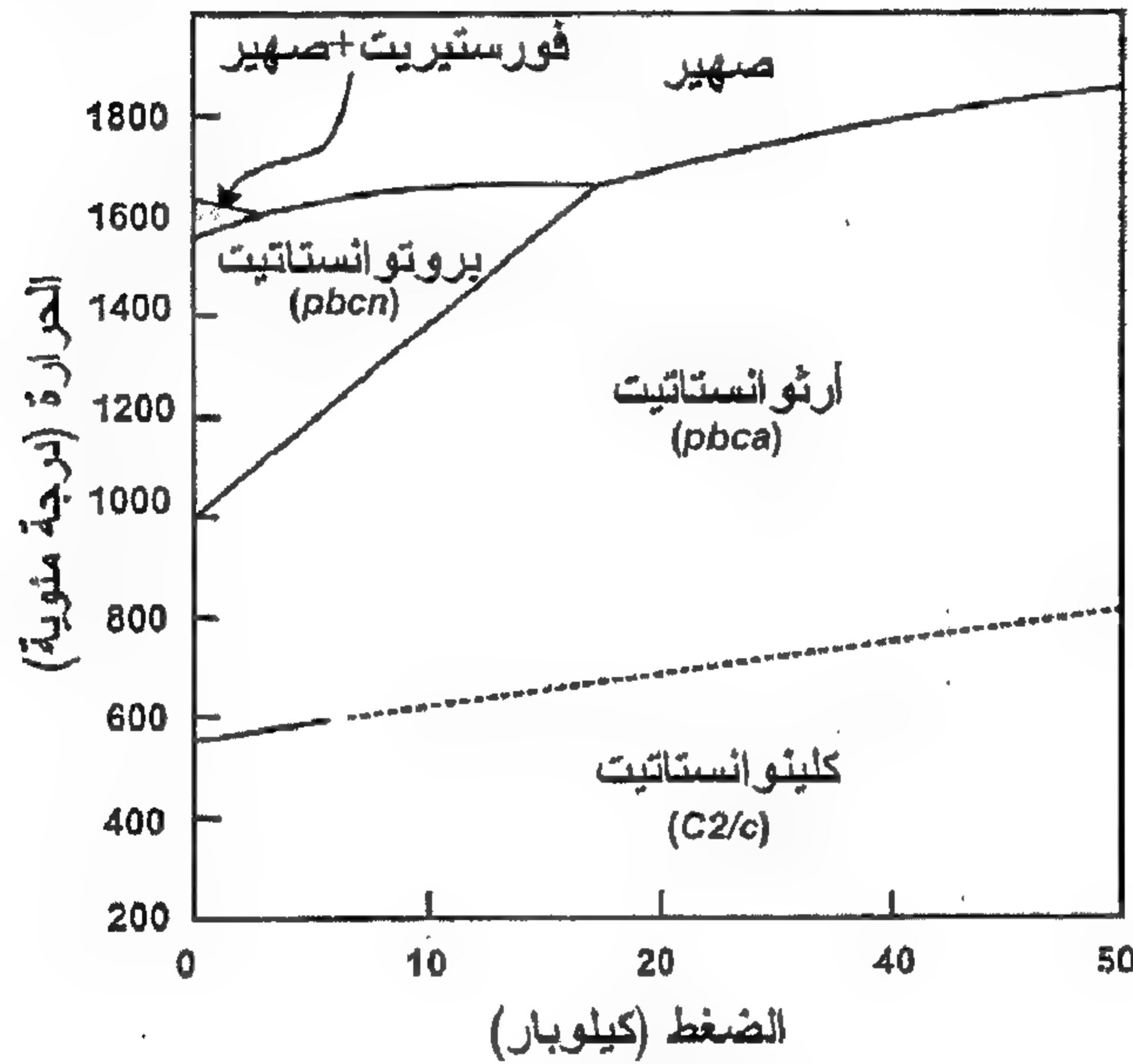
شكل ٣-٥: سلاسل تفاعلات المحلول الصلب Solid solution للمجاميع التحتية للببروكسين (نيسي ٢٠٠٠). (Nesse ٢٠٠٠).

هناك أربع سلاسل أناسية لتفاعلات المحلول الصلب والتي يمكن إستنباطها من الشكل (٣-٥):

- ١- محلول صلب للأرثوبيروكسين (غالباً يشار إليها بسلسلة الهيريثين)
- ٢- محلول صلب للبيجونيت-الأوجيت
- ٣- محلول صلب للديوبسيد-هيدينبرجيت
- ٤- محلول صلب للديوبسيد-إنستاتيت

(١) تتكون سلسلة الهيريثين من العضوين النهائيين الإنستاتيت ($Mg_2Si_2O_6$) والفيروسيليت ($Fe_2Si_2O_6$). يظهر الإنستاتيت على شكل ثلاث معادن (متعددة الشكل): بروتوانستاتيت وأرثوانستاتيت وكليوانستاتيت. يمثل البروتوانستاتيت المعدن المستقر عند درجات حرارة تزيد عن ١٠٠٠ درجة مئوية (شكل ٤-٥)، مما يجعل وجوده نادراً في الطبيعة. عند درجة حرارة أقل من ١٠٠٠ درجة مئوية، يتحول البروتوانستاتيت

إلى أرثوانستاتيت ثم إلى كلينوانستاتيت عند درجة أقل من ٦٠٠ درجة مئوية. على الجانب الآخر، يصبح الفيروسيليت غير مستقر عند الضغط المنخفض حيث يتفكك إلى خليط من الفياليت والكوارتز. يحدث تبادل بين الماغنسيوم والحديد بهذه السلسلة، حيث يمثل الإنستاتيت الطرف الغنى بالماغنسيوم، ويمثل الفيروسيليت الطرف الغنى بالحديد، بينما يمثل



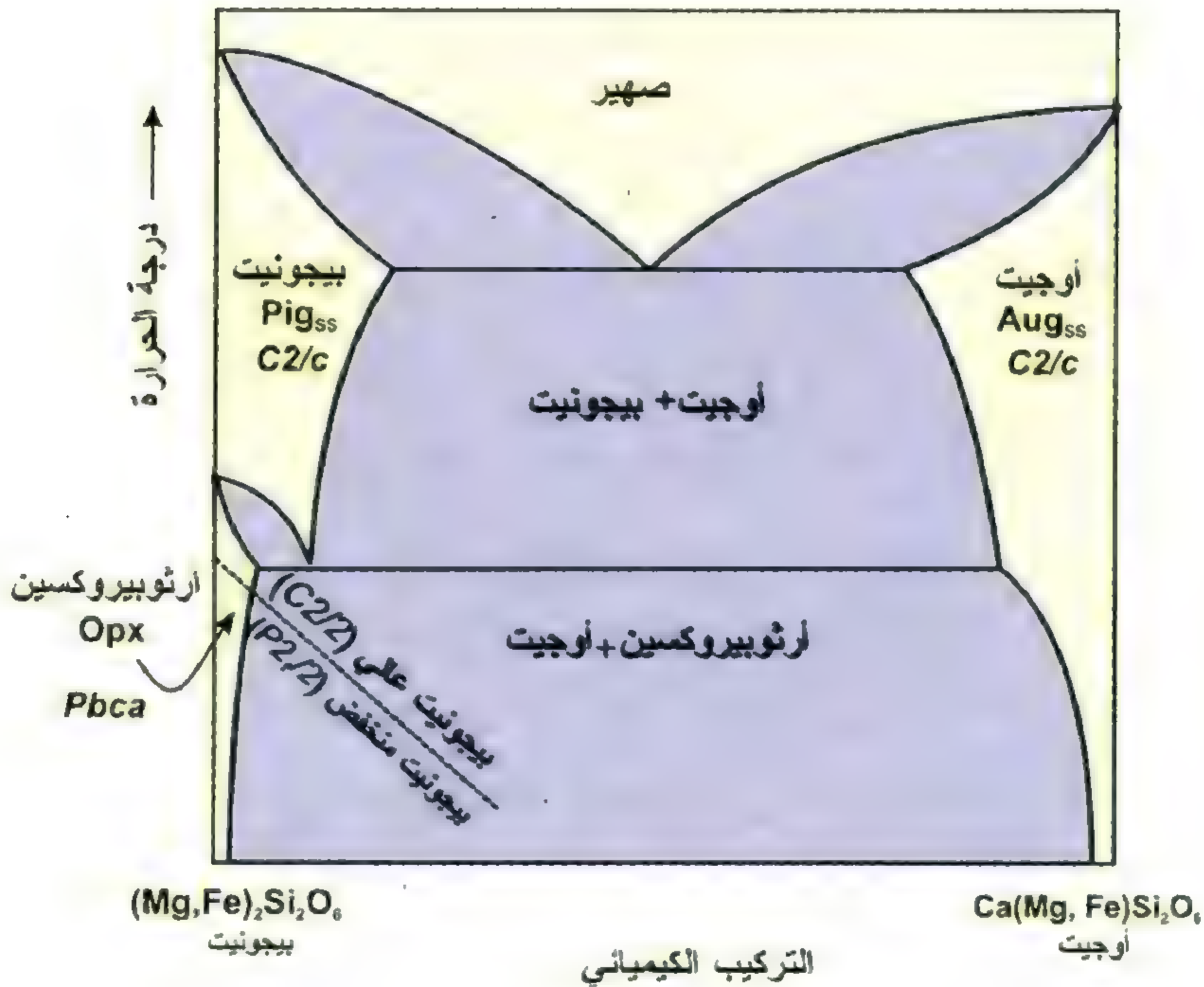
شكل ٥-٤: منحنى الضغط والحرارة لمتعدد الأشكال للإنستاتيت.

(<http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>)

الهيبرثين الحالة الوسط ويحتوى على حوالى ٥٠% حديد. على عكس الفيروسيليت والذي يتواجد بصورة نادرة، نجد أن الهيبرثين هو أكثر معادن هذه السلسلة إنتشاراً. يتحكم وجود الحديد إلى حد كبير فى اللون الغامق لهذه المعادن، ولذلك فإن أى معدن غامق فى هذه المجموعة يتوقع أن يقع تركيبه بين الهيبرثين والفيروسيليت (أى أكثر من ٥٠% حديد).

(٢) سلسلة البيجونيت-الأوجيت: يظهر البيجونيت فجوة إمتزاجية Miscibility gap مع معدن الأوجيت. يعتبر المعدن غير مستقر عند درجات الحرارة المنخفضة إذا ما قورن بالأرثوبيروكسين والأوجيت (شكل ٥-٥). تعتمد حد إستقرارية البيجونيت عند درجات الحرارة

المنخفضة على نسبة الحديد إلى الماغنسيوم بالمعدن، فمثلاً يصبح المعدن مستقرًا عند درجة حرارة ٩٠٠ درجة مئوية عندما تساوي هذه النسبة واحد. يعتبر البيجونيت ذو أهمية في معرفة درجة تبلور المجما، وبشكل غير مباشر في معرفة المحتوى المائي لها، ويرجع ذلك إلى الحساسية العالية للبيجونيت مع تغير درجات الحرارة. يتبلور كلا المعدنين في فصيلة الميل الواحد ويمكنهما قبول عنصر الكالسيوم بالبنية البلورية بالموقع M2. ولكن نظراً لاختلاف نصف القطر الأيوني بين الكالسيوم وكل من الحديد والماغنسيوم، فإنه يحدث نوع من رفع للمحتوى الحراري Enthalpy لكلا المعدنين ومن ثم يختلطا في محلول صلب ومن هنا تنشأ الفجوة الإمتزاجية عند الأصناف الوسطى لسلسلة البيجونيت-الأوجيت.

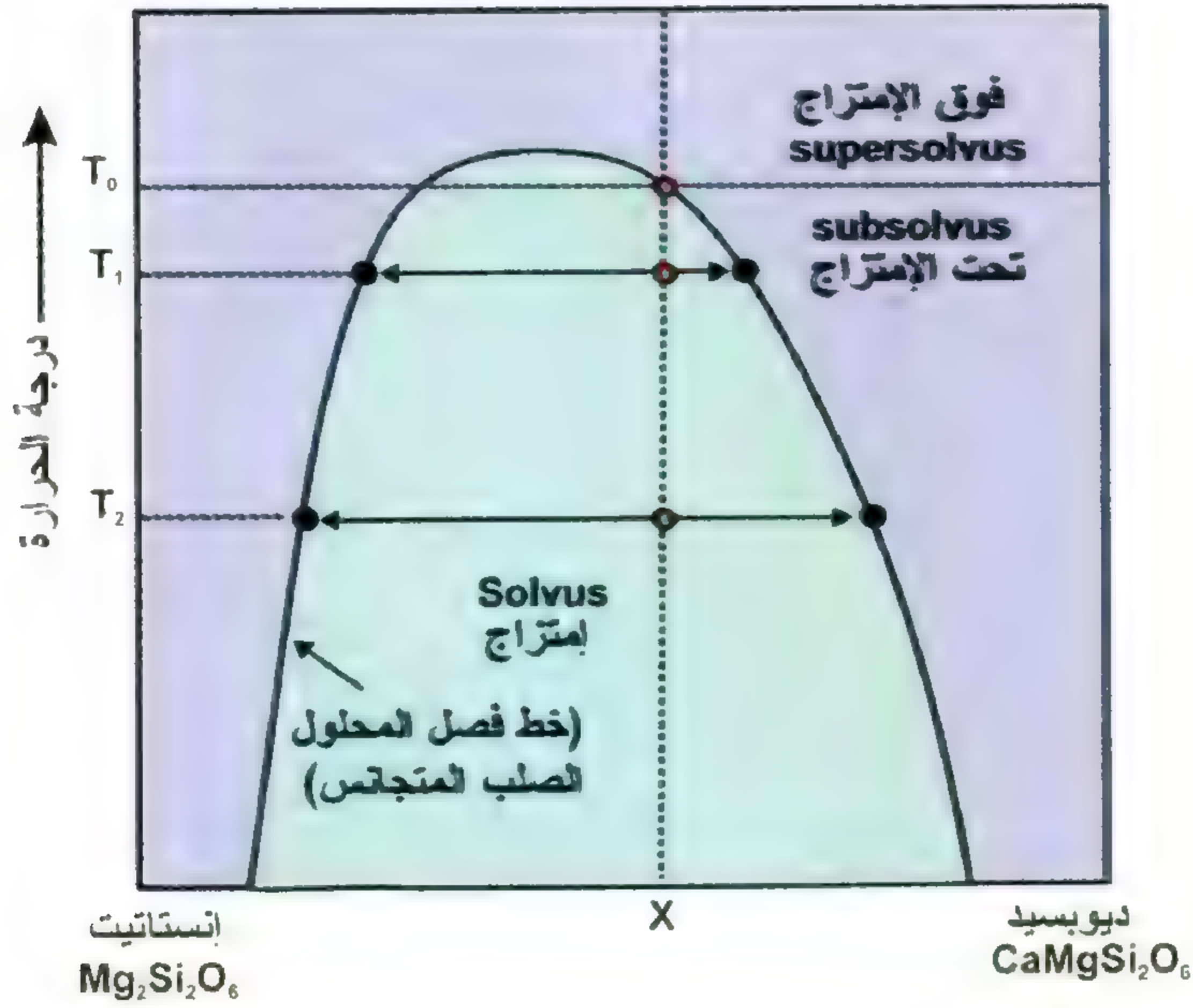


شكل ٥-٥: مخطط ثنائي الصنف بين طرفي سلسلة محلول صلب لمعدني البيجونيت والأوجيت.

(<http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>)

(٣) سلسلة الديوبسيد- الهيدينبرجيت: ينتمي كلا المعدنين للكلينوبيروكسين ويشغل أيون الكالسيوم الموقع M2 بالبنية البلورية، بينما يتبادل أيوني الماغنيسيوم والحديد الثنائي الموقع M1. تعتبر هذه السلسلة من أهم سلاسل المحلول الصلب لمجموعة معادن البيروكسين وتشتمل على معدني الهيدينبرجيت $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ والديوبسيد $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$. تشهد هذه السلسلة عمليات للتبادل الأيوني للحديد والماغنيسيوم بالموقع M2 ويمثل الديوبسيد المعدن الغنى بالماغنيسيوم، بينما يمثل الهيدينبرجيت المعدن الغنى بالحديد.

(٤) تستخدم سلسلة الديوبسيد-الإنستاتيت في تطبيقات مقاييس الحرارة والضغط Geothermobarometry، وذلك لتوفر نوع من الفجوة الإمتزاجية بين كل من المعدنين (شكل ٥-٦). يوضح هذا الشكل خط فصل المحلول الصلب الممتزج Solvus حيث يظهر كلا النوعين مع بعضهما عند درجات حرارة مختلفة. لاحظ أيضاً أن هذا الخط يقل في المسافة مع زيادة درجة الحرارة، وبالتالي يكون تركيب البيروكسين عند درجات الحرارة المنخفضة قريب من تركيب الديوبسيد والإنستاتيت. عند درجة حرارة أكبر من T_0 ، يصبح البيروكسين ذو التركيب "X" مستقراً، ولكن عندما يتبلور أو يتزن عند درجات حرارة أقل من T_0 ، أي عند درجة حرارة تحت الإمتزاج، يحدث فصل للمحلول الصلب ليكون نوعي البيروكسين. عند درجة الحرارة T_2 ، سيكون تركيب البيروكسين قريب من الأعضاء النهائية (الديوبسيد والإنستاتيت) مقارنة بدرجة الحرارة T_1 . يؤدي عدم الخلط إلى وجود الأرثوبيروكسين والكلينوبيروكسين في نفس الصخر أو يظهر أحدهما على شكل فقاعات أو رقائق صغيرة بداخل الآخر. بتحليل نوعي البيروكسين كيميائياً باستخدام جهاز المسبار الإلكتروني Microprobe يمكن حساب حرارة إتران كلا المعدنين وأيضاً حساب درجة حرارة تكون الصخر.



شكل ٥-٦: مخطط يوضح خط فصل المحلول الصلب المتجانس للديوبسيد-إنستاتيت (بيركينز ٢٠٠٢ Perkins).

ومن السلاسل الهامة الأخرى لمجموعة البيروكسين، سلسلة البيروكسين الصودي والموضحة بالشكل رقم (٥-٧). يمثل الإيجيرين أحد طرفي سلسلة محلول صلب مع معادن الكالينوبيروكسين الغنية بالكالسيوم. تتمثل عملية الاستبدال الأيوني في إحلال الصوديوم والحديد الثلاثي Fe^{3+} & Na محل الكالسيوم والحديد والماغنسيوم Ca , Fe^{2+} , Mg بالمواقع البلورية M_2 , M_1 . يرجع دخول الصوديوم أحادي الشحنة (+١) لبنية البيروكسين، وكذلك دخول كاتيونات ثلاثية الشحنة (+٣) مثل الألومنيوم والحديد الثلاثي، إلى تعويض بعض الشحنات الموجبة الأخرى المفقودة. فمثلاً في حالة الجاديت والإيجيرين، فإن تعويض فرق الشحنة يأتي بدخول كاتيونات الألومنيوم والحديد الثلاثي على التوالي بالموقع M_1 . يطلق اسم أومفاسيت أو إيجيرين-أوجيت على البيروكسين الصودي الذي يحتوى على ما يزيد عن ٢٠% (نسبة جزيئية) للكالسيوم والماغنسيوم والحديد الثنائي.

جدول ٥-٢: التحليل الكيميائي للببروكسين من مناطق مختلفة.

٤	٣	٢	١	
٥٠,١١	٥٦,٧٢	٥١,١٥	٥١,٧٥	SiO ₂
٠,٠٠	٠,٠٥	٠,٠٠	٠,٠٠	TiO ₂
٠,٣٧	٢,٧٤	٠,٨٥٧	١,٢٣٥	Al ₂ O ₃
٠,٠٠	٠,٢٥	٠,٠٠	٠,٠٠	Cr ₂ O ₃
٠,٠٠	٠,٠٠	٢,٧٩٢	٠,١٠٥	Fe ₂ O ₃
٣٤,٩٤	٦,٢٨	٢٤,١٣	٢٦,٩٢	FeO
٠,٢٩	٠,١٢	١,١٩٥	١,٠٠٢	MnO
١٢,٩٣	٣٣,٧٤	١٨,٦٠	١٨,٧	MgO
٠,٥٦	٠,٣٣	٠,٣٥٨	٠,٥٥٩	CaO
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٤٥٦	٠,٠٠	Na ₂ O
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	K ₂ O
٩٩,٢٠	٩٩,٩٧	٩٩,٥٤	١٠٠,٢٧	المجموع

كاتيونات = ٦ ذرة أكسجين

٢,٠١	١,٩٥	١,٩٥٩	١,٩٦٩	Si
٠,٠٠	٠,٠٠١	٠,٠٠	٠,٠٠	Ti
٠,٠١٧	٠,١١١	٠,٠٣٩	٠,٠٥٥	Al
٠,٠٠	٠,٠٠٧	٠,٠٠	٠,٠٠	Cr
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٨	٠,٠٠٣	Fe ³⁺
١,١٧	٠,١٨١	٠,٧٧٣	٠,٨٥٧	Fe ²⁺
٠,٠١	٠,٠٠٤	٠,٠٣٩	٠,٠٣٢	Mn
٠,٧٧٢	١,٧١٧	١,٠٦٢	١,٠٦١	Mg
٠,٠٢٤	٠,٠١٢	٠,٠١٥	٠,٠٢٣	Ca
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٣٤	٠,٠٠	Na
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	K

١ - ٢ = إنستاتيت بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (الفيلاي وعبد النبي ٢٠٠٣).

٣ = إنستاتيت بالصخور فوق المافية بمنطقة ميريلاني بشمال شرق تنزانيا (Merelani, northeast Tanzania) (موهونجو وآخرون ١٩٩٩ (Muhongo et al.)).

٤ = فيروسيليت بصخور الجرانيتوليت بشمال الصين (Central Zone of the North China Craton) (زهاو وآخرون ٢٠٠٠ (Zhao et al.)).

تابع جدول ٥-٢: التحليل الكيميائي للبيروكسين من مناطق مختلفة.

٥	٦	٧	٨	
٥٣,٥٧	٥٣,٤٩	٥٣,٢٤	٥٢,٣٦	SiO ₂
٠,٠٤٠	٠,٠٤٦	٠,٢٥	٠,٠٤	TiO ₂
٠,٨٢٠	٠,٥٤٩	١,٦٥	١,٥٩	Al ₂ O ₃
٠,١٨٠	٠,٠٣٤	٠,٠٦	٠,٠٠	Cr ₂ O ₃
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠	Fe ₂ O ₃
٦,٤٨	٦,٧٤٠	٠,٤٦	١٣,٤٢	FeO
٠,٢١٠	٠,٣٠٢	٠,٢٢	٠,٢١	MnO
١٤,١٦	١٤,٣٢	١٧,١٥	١١,٤٥	MgO
٢٤,٨٠	٢٤,٥٤	٢٦,٠٣	٢١,٩٧	CaO
٠,٢٦٠	٠,٢٤٠	٠,٠٠٠	٠,١٥	Na ₂ O
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٧	K ₂ O
١٠٠,٥	٩٩,٠٩	٩٩,٠٦	١٠١,٢٦	المجموع

كاتيونات= ٦ ذرة أكسجين

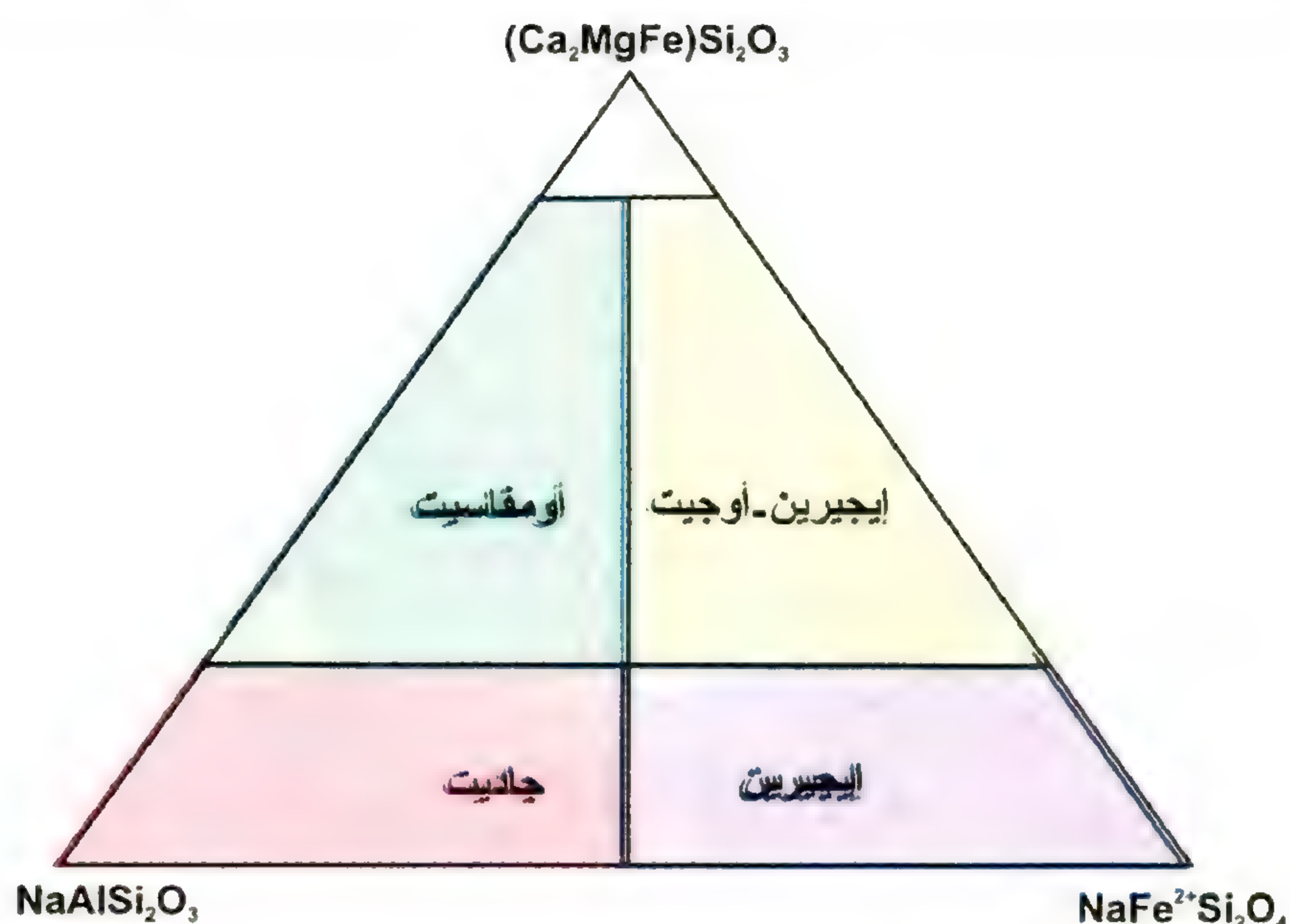
١,٩٨	١,٩٧٨	١,٩٥	١,٩٦٤	Si
٠,٠٠	٠,٠٠١	٠,٠١	٠,٠٠١	Ti
٠,٠٤	٠,٠٢٤	٠,٠٧	٠,٠٧	Al
٠,٠١	٠,٠٠١	٠,٠٠	٠,٠٠	Cr
٠,٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Fe ³⁺
٠,٢٠	٠,٢٠٩	٠,٠١	٠,٤٢١	Fe ²⁺
٠,٠١	٠,٠٠٩	٠,٠١	٠,٠٠٧	Mn
٠,٧٨	٠,٧٩٢	٠,٩٤	٠,٦٤	Mg
٠,٩٨	٠,٩٦٨	١,٠٢	٠,٨٨٣	Ca
٠,٠٢	٠,٠١٧	٠,٠٠	٠,٠١١	Na
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٣	K

٥= ديوبسيد بصخور الامفيبوليت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وآخرون ٢٠٠٠).

٦= ديوبسيد بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفاقيت، مصر (عبد النبي وفريش، تحت التحضير In preparation).

٧= ديوبسيد بالصخور الرسوبية المتحولة metasediments بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (درووب والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٨= ديوبسيد بصخور الجرانيتوليت بشمال الصين (Central Zone of the North China Craton) (زهاو وآخرون ٢٠٠٠ Zhao et al.).



شكل ٥-٧: مجموعة معادن البيروكسين الصودي.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يعتمد لون البيروكسين على محتواه من الحديد ويكون عديم اللون في حالة خلوه منه (مثل الإنستاتيت والديوبسيد والجاديت). ومع زيادة محتوى الحديد، يتدرج اللون من أخضر فاتح، أصفر إلى أخضر غامق أو بني مخضر إلى بني أو أسود مخضر أو أسود (مثل الأرثوبيروكسين والأوجيت والهيدينبرجيت والإيجيرين). يمكن أن يكون السبوديومين عديم اللون أو أخضر مصفر (هيدينيت Hiddenite) أو وردي (كونزيت Kunzite). البريق زجاجي أو لؤلؤي أو شبه فلزي. المخدش أبيض أو أخضر فاتح أو بني فاتح. المعادن شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦ والوزن النوعي بين ٣,٢ (إنستاتيت وديوبسيد) إلى ٤ (فيروسيليت).

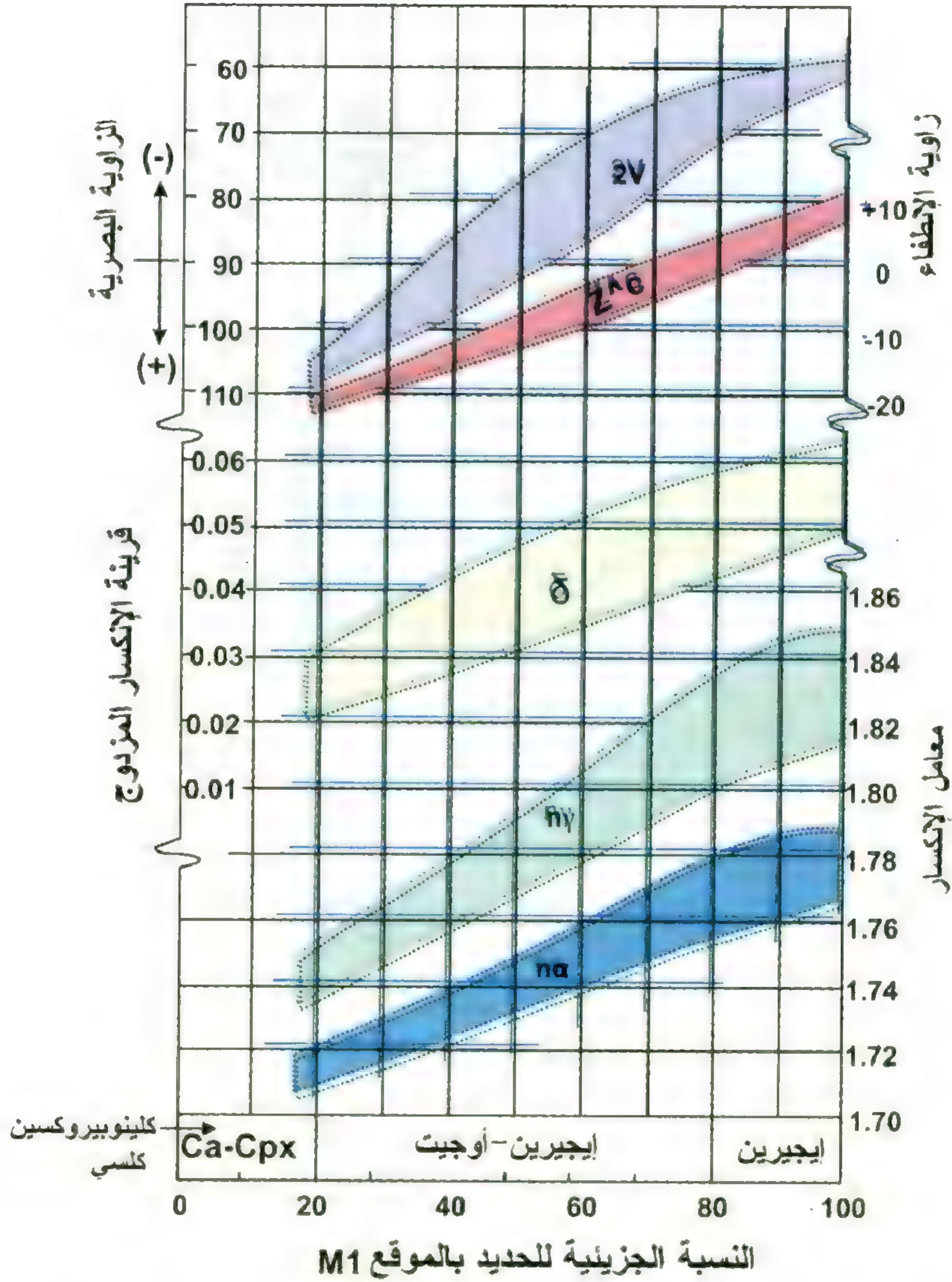
تحت الميكروسكوب، البيروكسين عديم اللون بالضوء المستقطب، وتُظهر الأنواع الغنية بالحديد ألوان من البني الفاتح إلى الأخضر. كما يُظهر الأرثوبيروكسين الغنى بالحديد تغير لوني من الوردي إلى الأخضر وخصوصاً عندما تصل نسبة إحلال الماغنسيوم للحديد ٣٠%. أهم ما يميز

الكلينوبيروكسين هو وجود مستويين إنقسام يلتقيا عند زاوية قدرها ٩٠° وبيوازيا المستوى {110} (شكل ٥-٨).



شكل ٥-٨: إنقسام مميز في إتجاهين بينهما زاوية ٩٠ درجة للديوبسيد ومعادن الكلينوبيروكسين الأخرى. www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cleavage.htm

يوضح شكل (٥-٩) تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج وزاوية الإنطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الحديدي بالموقع M1 بسلسلة الإيجيرين-إيجيرين أوجيت. كما تزداد معاملات الانكسار والزاوية البصرية (من ٥٦ إلى ٦٢°) وزاوية الإنطفاء (من ٣٨ إلى ٤٨°) بزيادة محتوى الحديد والمنجنيز بسلسلة الديوبسيد-الهيدينبرجيت. وبالمثل، تتغير الخواص البصرية مع إحلال الحديد الثنائي محل الماغنسيوم بسلسلة الإنستاتيت-الفيروسيليت حيث تزداد الزاوية البصرية بزيادة نسبة الفيروسيليت (Fs). تساوي الزاوية البصرية ٥٤-٩٠° عند Fs₀₋₁₂ (تركيب الانستاتيت)، وتساوي ١٣٠° عند (تركيب البرونزيت والهيبرثين) Fs₅₀ وتتنخفض مرة أخرى إلى ٩٠° عند Fs₈₈ (تركيب الفيروسيليت). يظهر الإنستاتيت قرينة انكسار مزدوج (٠,٠٠٨) أقل من البيجونيت والأوجيت (٠,٠٢٦ و ٠,٠٣٣ على الترتيب). تتفاوت ألوان التداخل ما بين رتبة ثانية في الكلينوبيروكسين إلى ألوان تداخل منخفضة في الأرثوبيروكسين. (شكل ٥-١٠).

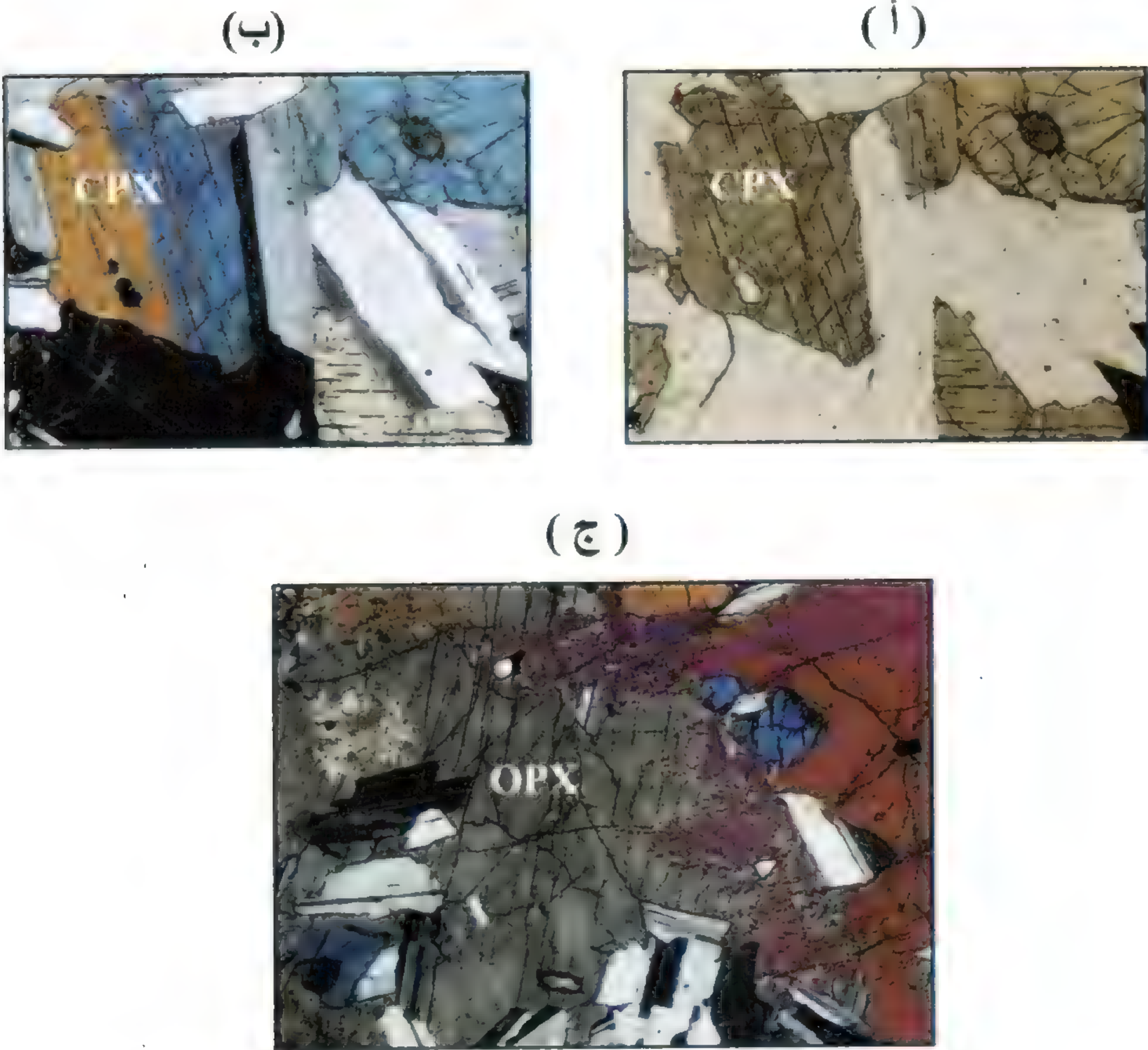


شكل ٩-٥: تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج وزاوية الانطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الحديدي بالموقع M1 بسلسلة الإيجيرين-الإيجيرين أوجيت (لارسين ١٩٤٢، Larsen، سابين ١٩٥٠، Sabine، نولان ١٩٦٩، Nolan، دير وآخرون ١٩٧٨، Deer et al.).

التواجدات والصحة المعدنية

يتواجد البيروكسين بشكل رئيسي بالصخور النارية الغنية بالحديد والماغنسيوم مثل الجابرو، والبازلت وكذلك بصخور البيريدوتيت. وقد يتواجد أيضاً كمعدن غامق بالصخور النارية المتوسطة مثل الديوريت والأنديزيت.

ويتواجد أيضاً بالصخور المتحولة بسحنات الأمفيبوليت والجرانيوليت (خصوصاً سلسلة الديوبسيد - الهدينبيرجيت).



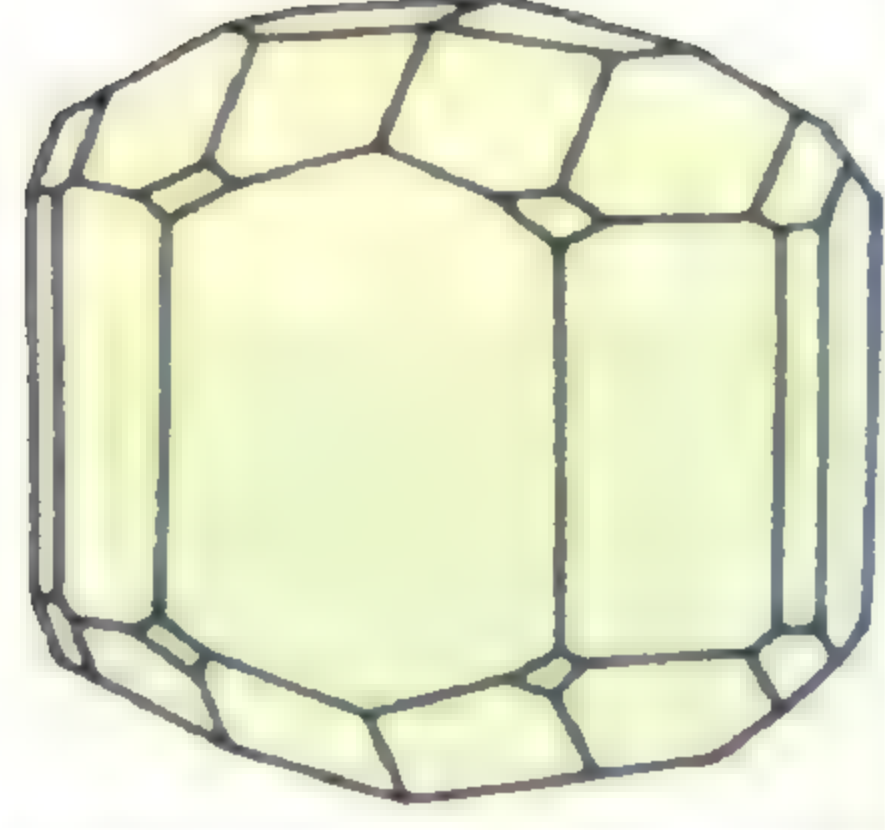
شكل ٥ - ١٠: (أ-ب) بلورة بنية اللون توأمية للكلينوبيروكسين (CPX)، لاحظ ألوان التداخل العالية للكلينوبيروكسين (رتبة ثانية أزرق وبرتقالي) مقارنة بألوان التداخل المنخفضة (رمادي) للأرثوبيروكسين (OPX) بالشكل (ج) .

الإنستاتيت Enstatite



تم تسمية المعدن عام ١٨٥٥م عن الكلمة الإغريقية *enstates* والتي تعنى "خصم أو عدو" ويعكس الاسم مدى مقاومة المعدن للانصهار.

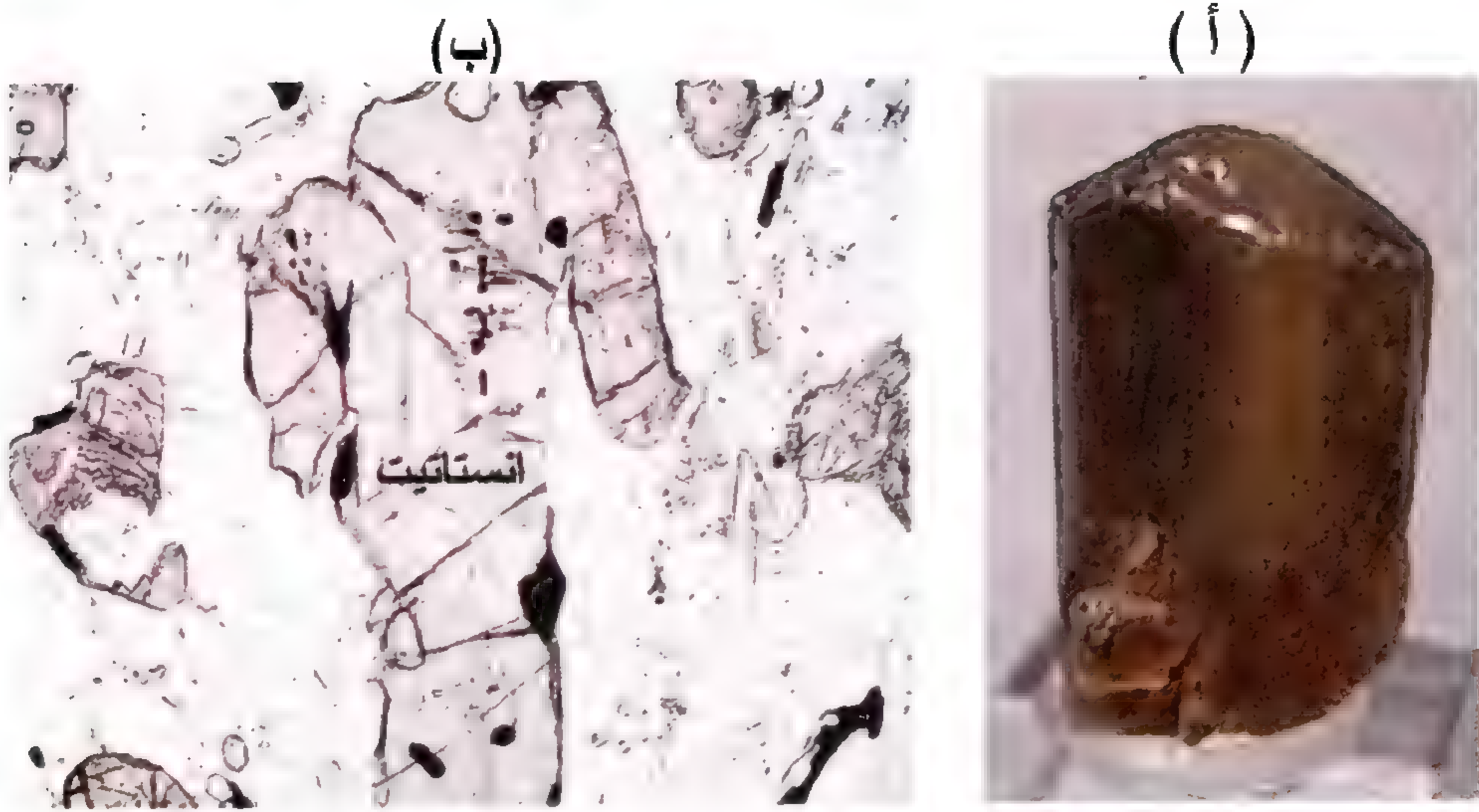
الصفات البلورية



يتبلور الإنستاتيت بفصيلة المعيني القائم وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a=18.22$ ، $b=8.81$ ، $c=5.21$ أنجستروم ويساوي عدد الذرات بخلية الوحدة $(Z)=4$. مجموعة النقطة $2/m2/m2/m$ والمجموعة الفراغية $P2_1/b2_1/c2_1/a$. يوجد المعدن عادةً على هيئة كتلية، ليفية أو لوحية، ويندر وجوده على شكل بلورات منشورية. رغم أن الإنستاتيت يتكون تحت ظروف حرارة عالية، إلا أن نظامه البلوري قد يتغير من المعيني القائم إلى الميل الواحد ليعطى معدن الكلينواينستاتيت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

عادةً يكون المعدن أبيض اللون أو عديم اللون وأحياناً رمادي أو بني فاتح أو أخضر شاحب (شكل ٥-١١). البريق زجاجي إلى لؤلؤي ولكن العينات المجواه تظهر بريق تحت فلزي. المخدش أبيض. البلورات دائماً نصف شفافة ونادراً ماتكون شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦ والانقسام كامل في اتجاهين بينهم زاوية تقترب من 90° . يصل الوزن النوعي إلى ٣.٢. يبدو الإنستاتيت تحت الميكروسكوب عديم اللون ولكن في حالة وجود بعض الحديد الذي يحل محل الماغنسيوم، فإنه يظهر تغير لوني وردي إلى أخضر. الإنطفاء موازى بالقطاع المنشوري. يتميز المعدن عن معادن البيروكسين الأخرى بالقيمة المنخفضة نسبياً لقرينة الانكسار المزدوج. المعدن ثنائي المحور موجب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $(\alpha)=1.65-1.668$ وبيتا $(\beta)=1.652-1.673$ وجاما $(\gamma)=1.659-1.679$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta)=0.008$ والزاوية البصرية $(2V)=54^\circ$.



شكل ٥-١١: (أ) بلورة منشورية بنية اللون للإنستاتيت من منطقة كيلوزا بتنزانيا (www.marinmineral.com/africa1.html). (ب) إنستاتيت عديم اللون إلى وردي بصخور النوريت (تحت الضوء المستقطب ، التكبير = ١٠٠ x).

التواجدات والصحية المعدنية

يتواجد الإنستاتيت بشكل شائع بالصخور النارية المافية والناشئة من صهير فقير في عنصر الحديد مثل الجابرو والبازلت والنوريت. كما يتواجد المعدن بالصخور المتحولة عالية الدرجة مثل الجرانولييت. وأحياناً يتكون الإنستاتيت من تجوية أحد معادن الأمفيبول وهو الأنثوفيلليت $[(Mg, Fe)_7Si_6O_{22}(OH)_2]$. ويتواجد الإنستاتيت بصخور النيازك والتي يطلق عليها نيازك الإنستاتيت وتمثل هذه النوعية حوالي ٢% من مجمل النيازك التي تسقط على كوكب الأرض. تحتوى نيازك الإنستاتيت على أنواع أخرى من المعادن مثل أولدهاميت Oldhamite (كبريتيد الكالسيوم) ونينينجيريت Niningerite (كبريتيد الماغنسيوم) والكبريتيدات القلوية. يصاحب الإنستاتيت كل من الأوجيت والفلسبار وأنواع معينة من الجارنت بالصخور النارية والمتحولة. يتواجد المعدن بأماكن عديدة على مستوى العالم منها الولايات المتحدة الأمريكية والهند وبورما وتنزانيا. كما يتواجد الإنستاتيت بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah بالمملكة العربية السعودية (جدول ٥-٢).

الاستخدامات

تستخدم بعض الأنواع خضراء اللون من الإنستاتيت كحجر كريم. ويرجع اللون الأخضر إلى تواجد نسبة من عنصر الكروميوم ويطلق على المعدن في هذه الحالة إنستاتيت كرومي *Chrome-enstatite*. كما يطلق اسم البرونزيت على الأنواع المجواه من نفس المعدن والتي تمتلك بريق تحت فلزي وتستخدم أيضاً كأحجار زينة *Ornamental stone*.

البيجونيت Pigeonite



يرجع اسم المعدن إلى أصل مكان تواجده بمنطقة بيجون "Pigeon Cove" بولاية مينيسوتا بالولايات المتحدة الأمريكية.

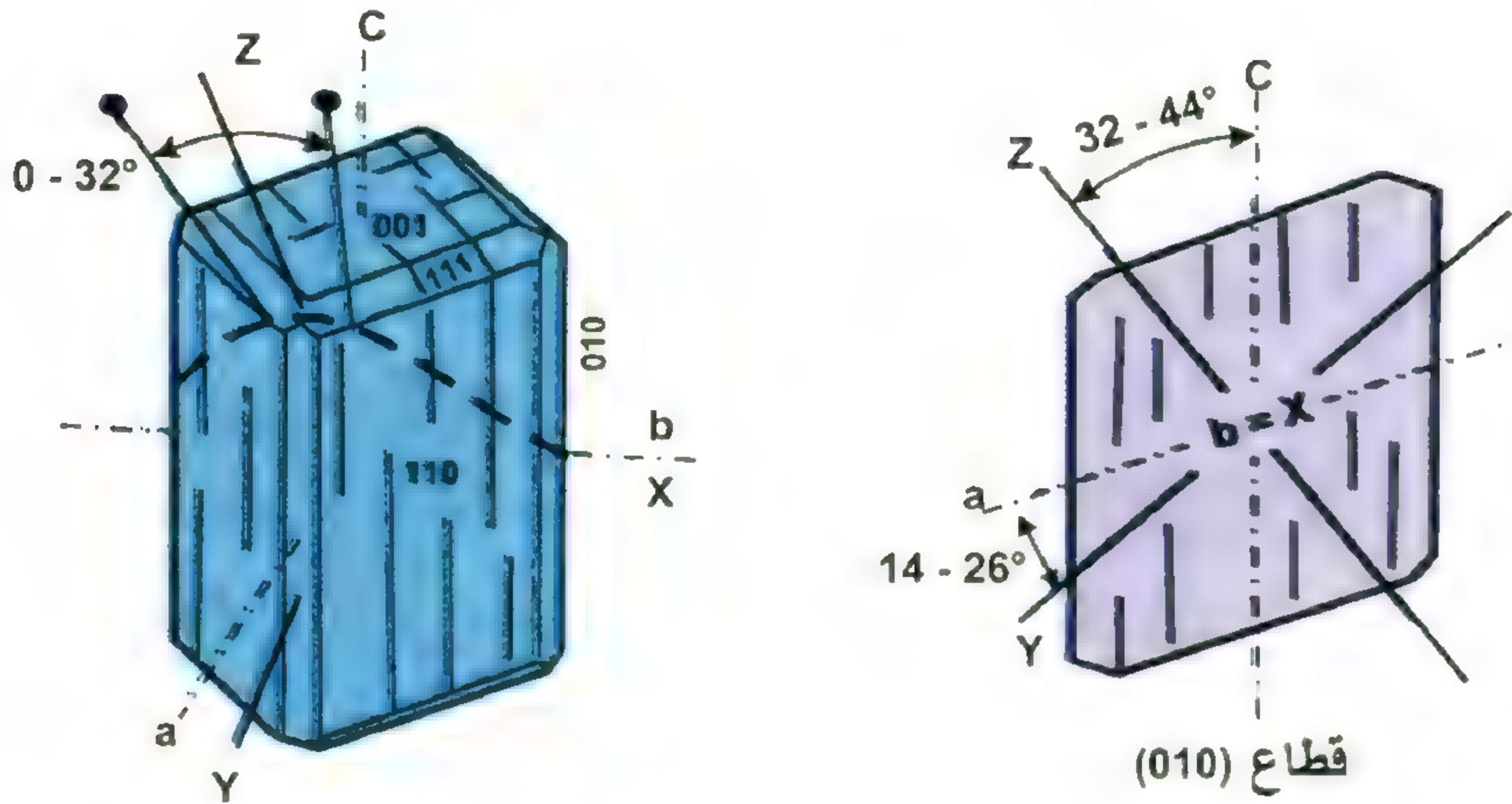
الصفات البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 9,7$ ، $b = 8,95$ ، $c = 5,24$ أنجستروم (شكل ٥-١٢). تبلغ الزاوية بين المحورية $\beta = 108,59^\circ$ وتصل نسبة المحاور البلورية $a : b : c$ إلى $1,084 : 1 : 0,585$ ومجموع ما تشغله خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 4$. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/C$. نادراً ما يوجد المعدن على هيئة بلورات منشورية ولكن غالباً يوجد على هيئة كتلية أو عمدانية أو على هيئة حبيبات صغيرة مصاحباً للأنواع الأخرى من البيروكسين.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز المعدن باللون البني والبني المخضر أو اللون الأخضر. البريق زجاجي والمخدش رمادي فاتح إلى غامق. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. تصل الصلادة إلى ٦ والإنقسام جيد موازي للمستوى $\{110\}$. يتراوح الوزن النوعي بين ٣,١٧ و ٣,٤٦. يتشابه البيجونيت مع معادن الكلينوبيروكسين الأخرى تحت الميكروسكوب (مثل الديوبسيد) ولكن يتميز

المعدن بزاوية بصرية أقل. يأخذ المعدن ألوان أخضر وأصفر شاحب وأخضر بني أو عديم اللون بالقطاعات الميكروسكوبية. المعدن ثنائي المحور موجب، حيث ألفا $(\alpha) = 1.682 - 1.732$ وبيتا $(\beta) = 1.684 - 1.732$ وجاما $(\gamma) = 1.705 - 1.757$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = -0.023$ والزاوية البصرية $(2V) = \text{صفر} - 32^\circ$.



شكل ١٢-٥: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن البيجونيت.

التواجدات والصحة المعدنية

ينحصر وجود البيجونيت بالصخور النارية البركانية التي تعرضت لعمليات تبريد سريعة، ولكن في حالة التبريد البطيء فإنه يتحول إلى نوع آخر من أنواع البيروكسين (أوجيت أو كلينوبيروكسين) عند درجات الحرارة المنخفضة. كما يتواجد المعدن بالصخور المتحولة وصخور النيازك. يتواجد البيجونيت بأماكن عديدة بالعالم منها: الولايات المتحدة الأمريكية حيث تم إكتشافه كما ذكر عام ١٩٠٠ بمنطقة بيجون بولاية مينيسوتا وأماكن أخرى مثل منطقة كوبالت بولاية أونتاريو بكندا وتداخلات سكيرجارد Skaergaard intrusion بجرينلاند ومعقد بشفيلد Bushfeld Complex بجنوب أفريقيا وبركان هاكوني Hakone Volcano باليابان وأردنامورشان وأرجيلشاير

Ardnamurchan and Argyllshire بإسكتلندا ومنطقة فوجيلزبرج وهيسي
Vogelsberg, Hesse بألمانيا.

ديوبسيد Diopside



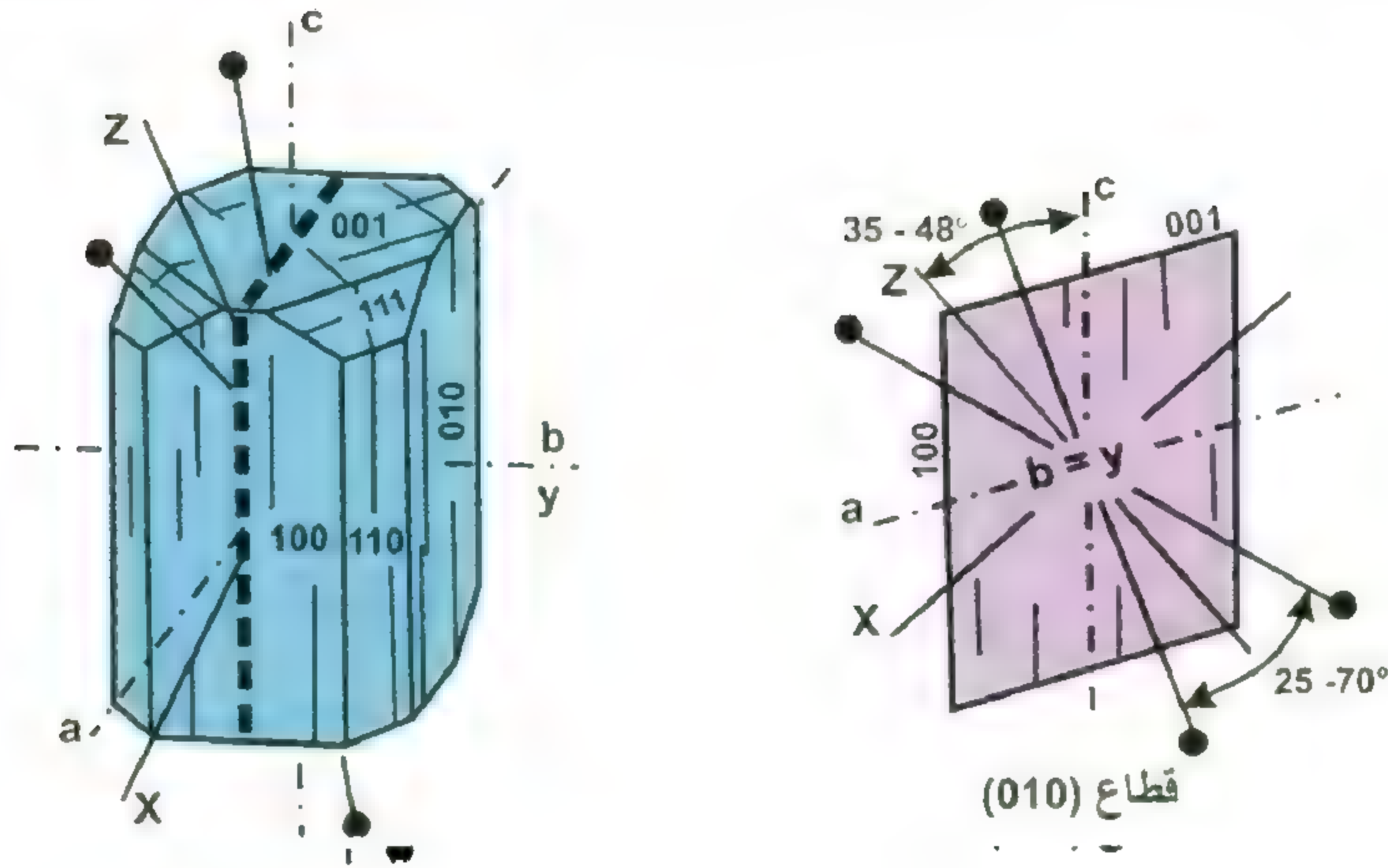
يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *dis* والتي تعنى "أثنين" وكلمة *Opsis* والتي تعنى "مظهر" وذلك لما يظهره المعدن من مظهرين مختلفين عند النظر إلى هيئته المنشورية. هناك العديد من أنواع الديوبسيد، يسمى النوع الغنى بالكروميوم ذو اللون الأخضر باسم الديوبسيد الكرومي ويستخدم كحجر كريم. ويسمى النوع الأزرق بالفيولون Violon ولكنه نادر الوجود. وهناك أيضاً نوع من الديوبسيد يسمى عين الهر Cat's eye، يحتوى عادةً على مكثفات دقيقة من الروتيل، وهناك نوع أسود اللون يتواجد به الروتيل على شكل نجمة من أربع أضلع ويسمى ديوبسيد نجمي Star diopside. هذا بالإضافة إلى نوع الديوبسيد العادي والذي يتميز باللون الأبيض والبريق الزجاجي.

الصفات البلورية

يتبلور الديوبسيد بفصيلة الميل الواحد حيث تبلغ أبعاد الخلية: $a = 9,76$ ، $b = 8,92$ ، $c = 5,25$ أنجستروم (شكل ٥-١٣) وتبلغ النسبة بين المحاور البلورية $a:b:c = 1,094 : 1 : 0,589$ ، وعدد ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) = ٤، مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/C$. يتواجد الديوبسيد على هيئة منشورية وكتلية وعمدانية أو حبيبات دقيقة، كما توجد البلورات أحياناً على هيئة توأمية.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير لون معدن الديوبسيد من الأبيض إلى الأخضر الشاحب (شكل ٥-١٤) أو البني المخضر أو المصفر. البريق زجاجي والمخدش أبيض إلى أبيض رمادي. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة تتراوح ما بين ٥,٥



شكل ٥-١٣: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الديوبسيد.

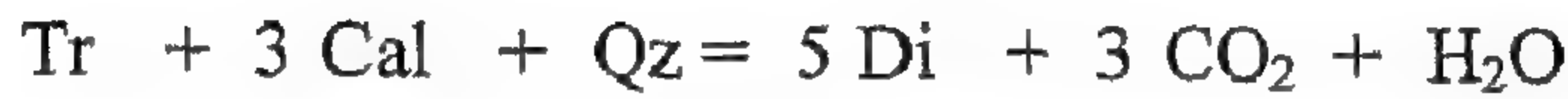
إلى ٦,٥ والإنقسام كامل في اتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. الوزن النوعي حوالي ٣,٣. يظهر الديوبسيد بالقطاعات الرقيقة عديم اللون في حالة خلوه من أى نسبة حديد ولكن يتغير لونه إلى الأخضر أو البني مع زيادة نسبة الحديد. يتميز الديوبسيد عن معادن الأرثوبيروكسين بقرينة الانكسار المزدوج العالية وكذلك الإنطفاء المائل. المعدن ثنائي المحور (موجب)، ألفا $\alpha = 1,663 - 1,699$ وبيتا $\beta = 1,671 - 1,705$ وجاما $\gamma = 1,693 - 1,728$ وقرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,030$ والزاوية البصرية $2V = 70^\circ - 25^\circ$.



شكل ٥-١٤: بلورات منشورية خضراء اللون للديوبسيد.

التواجدات والصحبة المعدنية

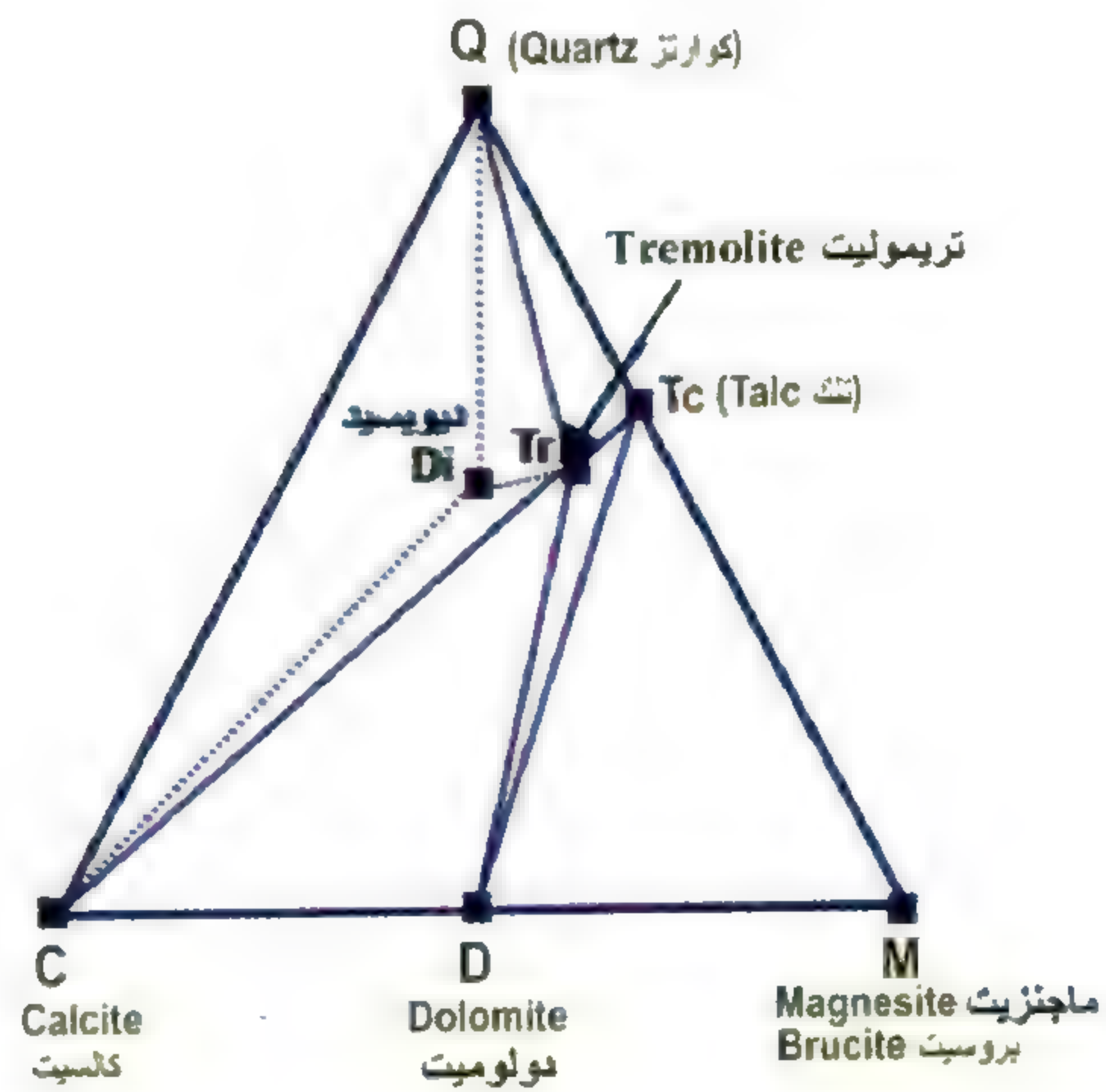
يعتبر الديوبسيد أكثر معادن البيروكسين شيوعاً، فهو يتواجد بالصخور المافية وفوق المافية مصاحباً للبلاجيوكليز والأوليفين. كما يتواجد بالصخور المتحولة ذات الأصل الرسوبي مثل الصخور الجيرية ويتكون مع بداية سحنة الأمفيبوليت (عند حوالي ٥٢٠ درجة مئوية) من جراء تفاعل كل من التريموليت والكوارتز والكالسيت:



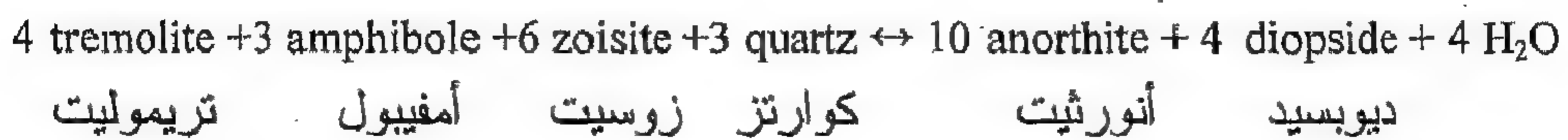
ديوبسيد كوارتز كالسيت تريموليت

ومن المعادن المصاحبة: الكالسيت والكوارتز والفورستريت والتريموليت والسكابوليت والجارنت (شكل ٥-١٥).

شكل ٥-١٥ : الصحبة المعدنية المتكونة من تحول الصخور الجيرية عند ٥٢٠ درجة مئوية (الفيلاي ٢٠٠٥).

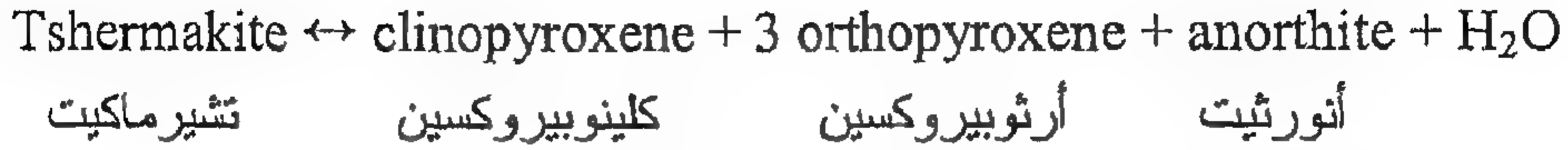


كما يتواجد الديوبسيد بالصخور المافية المتحولة ويتكون عند ٦٥٠ درجة مئوية (سحنة الأمفيبوليت العليا) حسب التفاعل:



ومع الانتقال من سحنة الأمفيبوليت العليا إلى الجرانوليت (٦٥٠ - ٨٠٠ درجة مئوية وضغط ٦ - ٧ كيلو بار)، يتكون نوعي البيروكسين

(الأرتوبيروكسين والكلينوبيروكسين) على حساب الأمفيبول (تشيرماكيت) حسب التفاعل:



يتواجد الديوبسيد بأماكن عديدة بالعالم، منها: الولايات المتحدة الأمريكية والسويد وكندا وألمانيا والهند وروسيا وسويسرا. كما ينتشر المعدن بالصخور المتحولة بالدرع العربي النوبي مثل منطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية ومناطق عدة بجمهورية مصر العربية مثل وادي حيمور وجبل حفافيت.

الاستخدامات

تستخدم الأنواع الغنية بالكروميوم كحجر كريم والذي يستخرج بكميات كبيرة من منطقة سيبيران بروسيا Siberran. ولكن لا يوجد له استخدام آخر بالصناعة.

الإيجيرين Aegirine

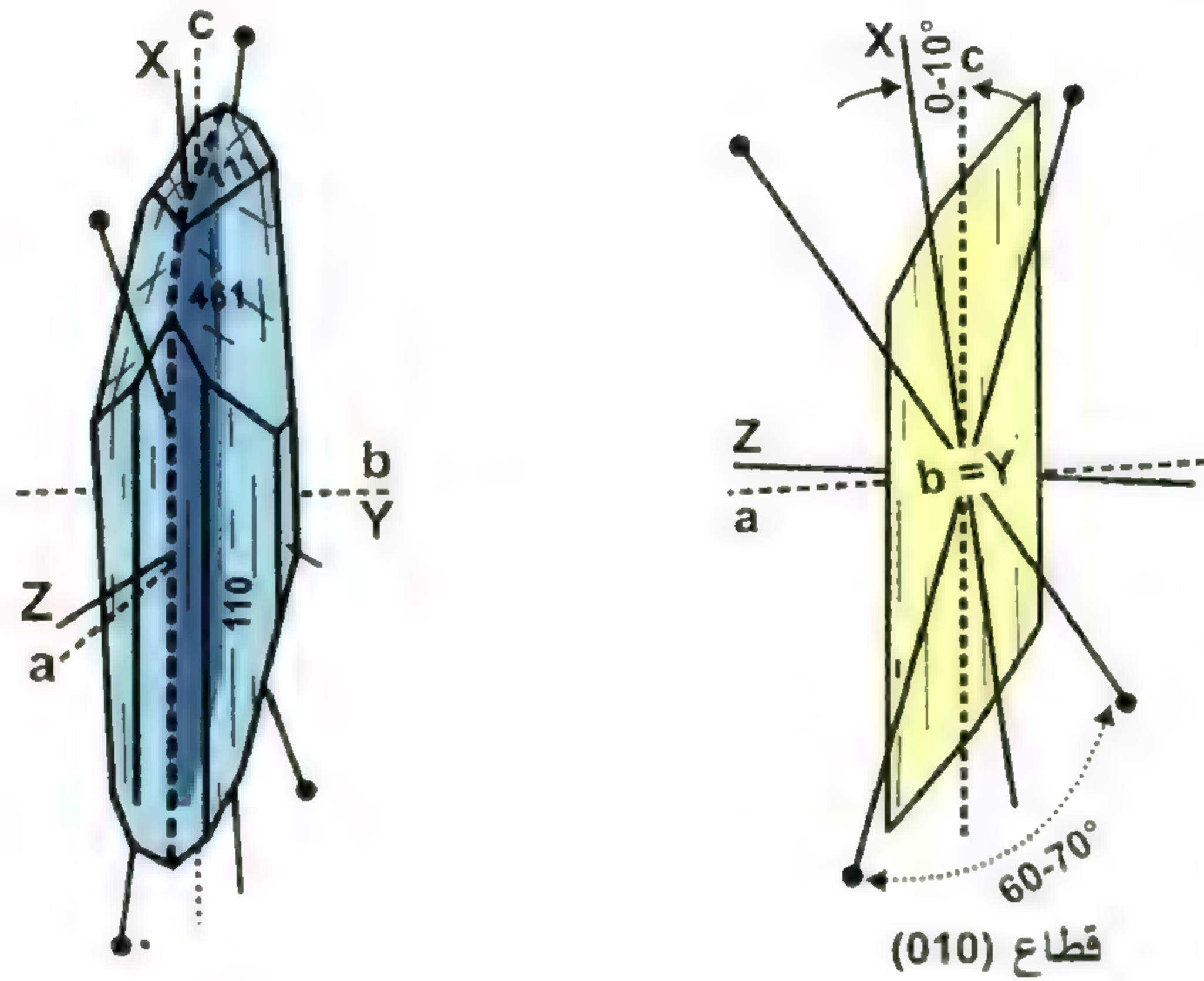


يعود اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *Aegir* والتي تعنى الإله التيوتوني للبحر Teutonic God of the Sea، وقد أطلق عليه هذا الاسم عند إكتشافه بالنرويج. يطلق على هذا المعدن أيضاً اسم أكميت Acmite والذي يأتي من كلمة يونانية بمعنى نقطة.

الصفات البلورية

يصعب تمييز الإيجيرين عن قرينه معدن الأوجيت، ولكن يتميز الإيجيرين في بعض الأحيان بالهيئة الهرمية الحادة. يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ = ٩,٧، ب = ٨,٨، ج = ٥,٣ أنجستروم. النسبة بين المحاور البلورية ا: ب: ج = ١,٠٩٧٨ : ١ : ٠,٦٠١٨.

مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) = ٤، الزاوية بيتا (β) = ١٠٥° - ١٠٧°، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C₂/C. توجد البلورات على هيئة منشورية مستطيلة (شكل ٥-١٦) منتهية بهرم غير متماثل وحاد الزاوية. كما يوجد المعدن على هيئة حبيبات صغيرة وكتلية ليفية وشعاعية وإبرية (شكل ٥-١٧).

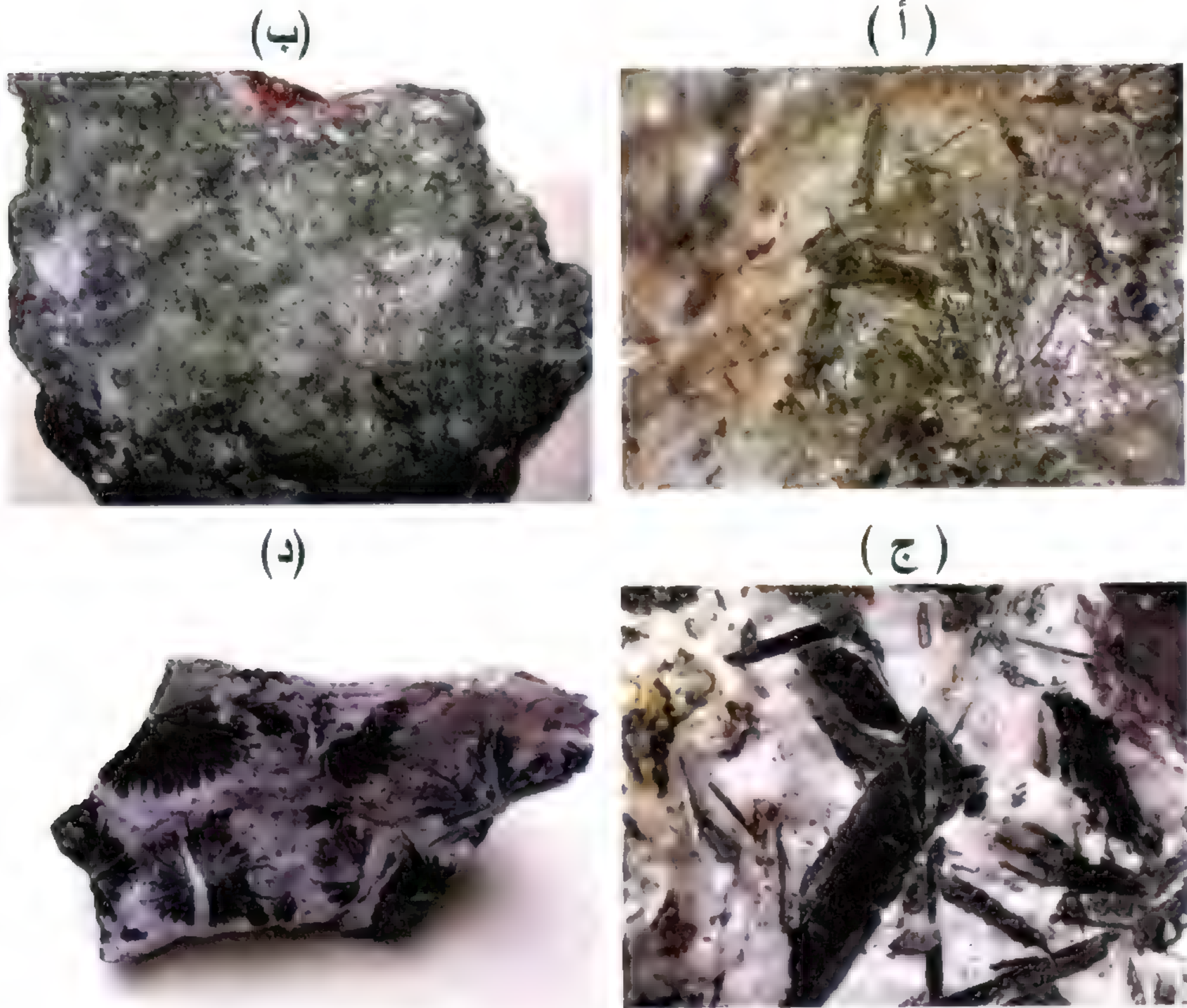


شكل ٥-١٦: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الإيجيرين.

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أسود إلى أسود بني أو أخضر غامق (شكل ٥-١٧). البريق زجاجي والمخدش أبيض أو رمادي. المعدن نصف شفاف إلى معتم. الصلادة = ٦ - ٦,٥ والإنقسام كامل في إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. الوزن النوعي = ٣,٥ - ٣,٦. تحت الميكروسكوب، اللون أخضر داكن إلى شاحب أو أخضر مصفر وتزداد درجة الغمقان مع زيادة نسبة الحديد، كما يتميز المعدن بالتضاريس العالية الموجبة. تزداد معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج مع زيادة نسبة الحديد (انظر شكل ٥-٩). العينات التي يتراوح محتوى الحديد الثلاثي فيها من ٤٠ إلى ٤٥% تكون سالبة

بصرياً، بينما تكون الأنواع الأقل في نسبة الحديد الثلاثي موجبة بصرياً. تبلغ معاملات الانكسار: ألفا $(\alpha) = 1.700 - 1.776$ وبيتا $(\beta) = 1.710 - 1.820$ وجاما $(\gamma) = 1.730 - 1.836$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = -0.028$ و 0.060 والزاوية البصرية $(2V) = 60^\circ - 70^\circ$.



شكل ٥-١٧: بلورات خضراء اللون إلى أخضر قاتم من الإيجيرين على هياكل مختلفة (أ) إبرية، (ب) كتلية، (ج) منشورية، (د) شعاعية. maurice.strahlen.org/minerals/aegirine.htm.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الإيجيرين مع الأوجيت في الصخور النارية الغنية بالقلويات مثل الصوديوم والبوتاسيوم، وخصوصاً بصخور الجرانيت القلوية والسيانيت والسيانيت النيفيليني والفونوليت. وينحصر وجود المعدن بالصخور المتحولة

فى سحنة الشيست الأزرق. من المعادن المصاحبة: الأوجيت والنيفيلين والأندرايد والباريت والكوارتز والريبيكيت والبيوتيت والصوداليت والألبيت. من أهم أماكن تواجده: منطقة مونت سانت-هيلير Mont Saint-Hilaire وكيوبيك Quebec بكندا وكونجسبرج Kongsberg بالنرويج ونارسارسوك Narsarsuk بجرينلاند وجزيرة كولا Kola Peninsula بروسيا وماجنيت كوف أركنساس Magnet Cove Arkansas بالولايات المتحدة الأمريكية وأيضاً فى كينيا ونيجيريا.

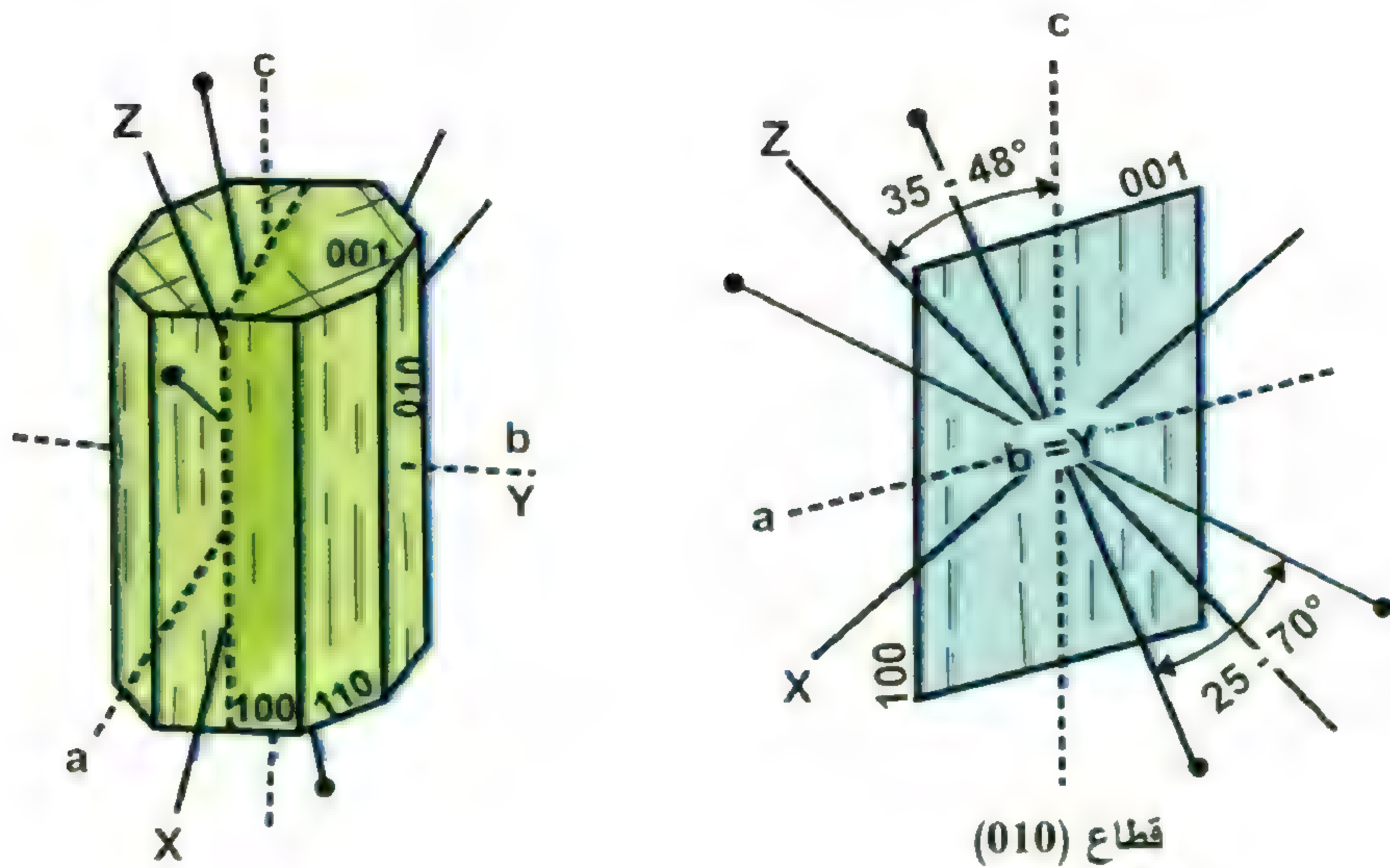
الأوجيت Augite



يأتى اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *augites* والتي تعنى مضىء ويرجع ذلك إلى الشكل المضىء والبريق الزجاجي للأوجيت. يعتبر الأوجيت من أكثر معادن البيروكسين إنتشاراً. يمثل الأوجيت المعدن الوسط لسلسلة محلول صلب يمثل طرفيها معدنى الديوبسيد والهيدينبرجيت (انظر شكل ٥-٣).

الصفات البلورية

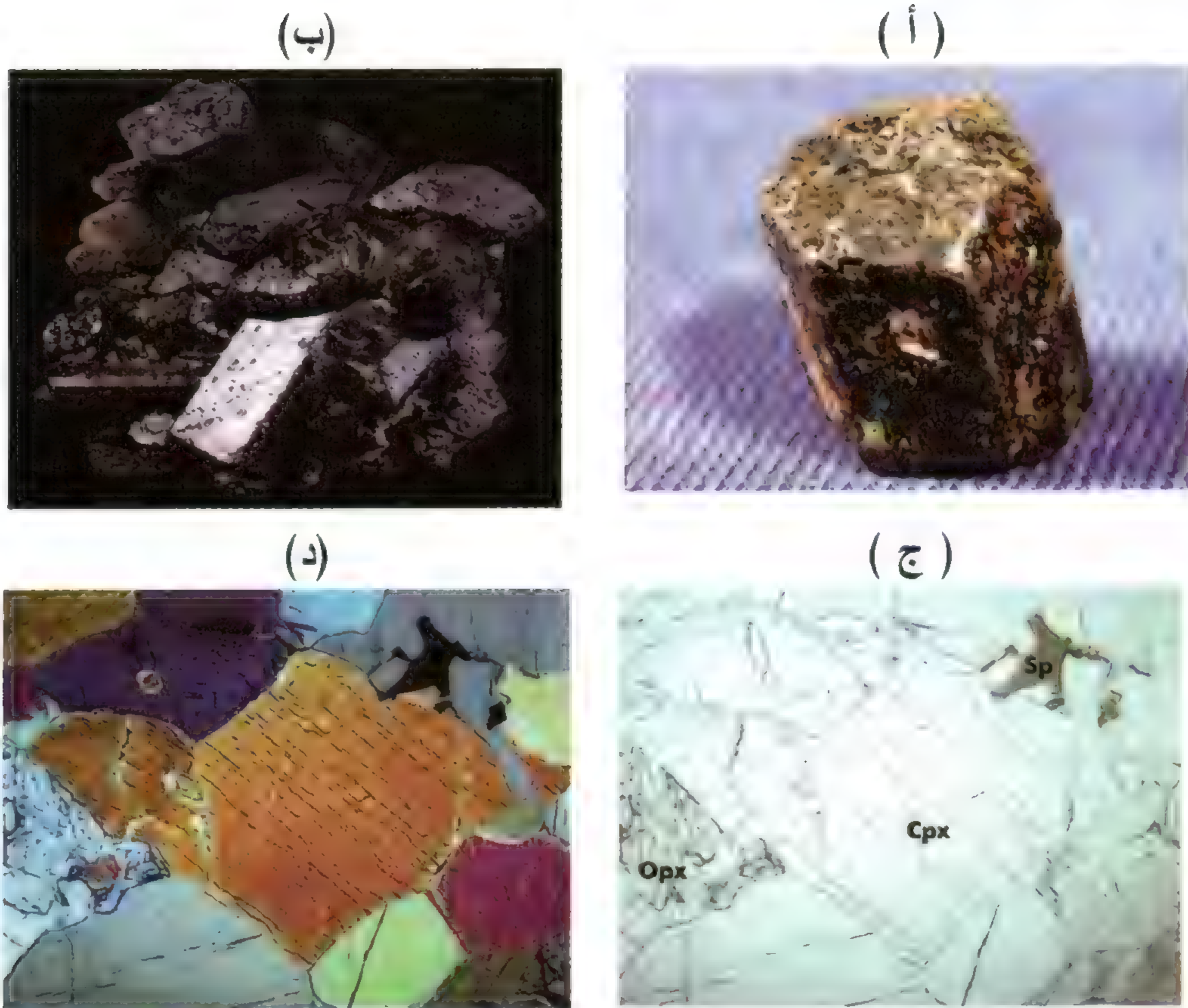
يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a = 9,78$ ، $b = 8,96$ ، $c = 5,27$ أنجستروم (شكل ٥-١٨)، نسبة المحاور البلورية أ: ب: ج = ١,٠٩٢ : ١ : ٠,٥٨٨ والزاوية بيتا $(\beta) = 105,71^\circ$. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 4$ ، مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/C$. يوجد المعدن على هيئة بلورات منشورية قصيرة ونادراً على شكل بلورات صفائحية، كما توجد البلورات على هيئة كتلية وعمدانية وليفيه أو على هيئة حبيبات.



شكل ٥-١٨: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الأوجيت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز المعدن باللون الأخضر القاتم أو البني أو الأسود (شكل ٥-١٩). البريق زجاجي إلى شبه فلزي وأحياناً قاتم. المخدش بني مخضر. المعدن نصف شفاف. الصلادة تتراوح بين ٥ و ٦. الانفصام كامل في إتجاهين بينهما زاوية تقترب من 90° . الوزن النوعي يتراوح بين ٣,٢ و ٣,٦. يتشابه الأوجيت مع معادن الكالينوبيروكسين الأخرى تحت الميكروسكوب ويُظهر درجات متفاوتة من اللون البني الفاتح إلى البني المصفر أو الأخضر. كما يُظهر الأوجيت تغير لوني ضعيف. يمكن تمييز الأوجيت عن الأنواع الأخرى من معادن الكالينوبيروكسين عن طريق زاوية الانطفاء (حوالي 45°) والعلامة البصرية (ثنائي المجور موجب) وكذلك مقدار الزاوية البصرية (2V) والتي تساوي $25^\circ - 70^\circ$. وتبلغ معاملات الانكسار في الأوجيت: ألفا $1,671 - 1,735$ وبيتا $1,672 - 1,741$ وجاما $1,703 - 1,761$ وقرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,030$.



شكل ٥-١٩: بلورات منشورية من الأوجيت خضراء اللون (أ) وسوداء اللون (ب). (ج-د) صورة ميكروسكوبية للأوجيت (Cpx) مع صحبه من السبينيل (Sp) والأورثوبيروكسين (Opx) بصخور البيريدوتيت بنيومكسيكو (www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cpx.htm). لاحظ الاختلاف في التضاريس وألوان التداخل بين نوعي البيروكسين.

التواجدات والصحة المعدنية

يكثر وجود الأوجيت بصخور الجابرو والصخور فوق المافية. كما يوجد أيضاً كحبيبات كبيرة بصخور البازلت. ويوجد أيضاً بالصخور المتحولة عالية الدرجة مثل الجرانولييت والنيس. ومن المعادن المصاحبة: الأرثوكليز والسانيدين واللابرادوريت والأوليفين والأمفيبول ومعادن البيروكسين الأخرى. ينتشر المعدن بمناطق مختلفة من العالم وهناك بعض الأمثلة التي تم دراستها تفصيلاً، مثل: منطقة أريندال Arendal بالنرويج، مناطق

فسوفيوس وكامبانيا وفراسكاتي بإيطاليا Vesuvius, Campania, Frascati
ومنطقة ليشارزيه Laacher See بألمانيا وأونتاريو وكيوبيك بكندا ومنطقة
فرانكلين وسترينم هيل بالولايات المتحدة الأمريكية ومقاطعة جيلجيت
بباكستان Gilgit ومنطقة أتكانجان بالهند At kangan.

مجموعة البيروكسينويد

Pyroxenoid Group

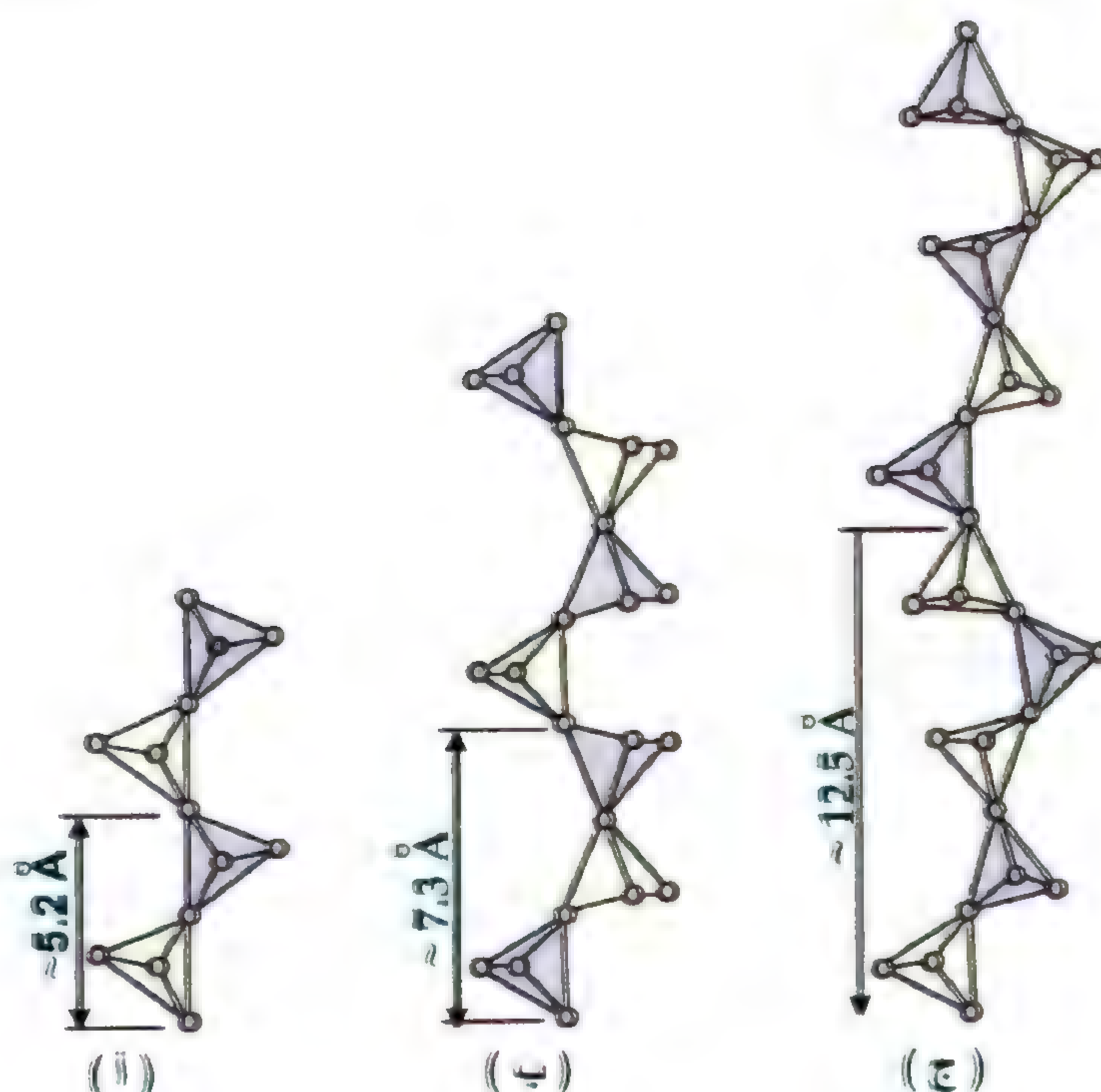
تختلف مجموعة معادن البيروكسينويد عن البيروكسين في وضع سلسلة
رباعيات الأوجه السيليكاتية والتي توجد في وضع مشوه أو ملتوي (شكل ٥-٢٠).
في حالة البيروكسين، نجد أن المسافة التكرارية خلال السلسلة تتكون
من إثنين من رباعي الأوجه السيليكاتي (مسافة بينية حوالي ٥,٢ أنجستروم)
(شكل ٥-٢٠ أ). بينما في حالة البيروكسينويد، تتكون المسافة التكرارية
خلال السلسلة من ثلاثة أو أكثر من رباعيات الأوجه السيليكاتية (مسافة بينية
حوالي ٧,٣ و ١٢,٥ أنجستروم على التوالي) (شكل ٥-٢٠ ب، ج). من
ناحية أخرى، تتشابه مواقع الكاتيونات بتناسق ثمانى الأوجه في كل من
المجموعتين.

تتكون مجموعة البيروكسينويد من عدة معادن تحمل الصيغة الكيميائية
العامة $XSiO_3$ ، حيث تمثل X كاتيونات ثنائية التكافؤ وذات نصف قطر أيوني
كبير مثل الكالسيوم والمنجنيز والحديد الثنائي. ومن معادن البيروكسينويد
المعروفة والتي سنتناول وصفها في الفقرات القادمة:

الولاستونيت $CaSiO_3$ Wollastonite

الرودونيت $MnSiO_3$ Rhodonite

البيكتوليت $NaCa_2(SiO_3)H$ Pectolite



شكل ٥-٢٠: سلسلة رباعيات الأوجه السيليكاتية (أ) البيروكسين، (ب-ج) البيروكسينويد (نيسي ٢٠٠٠). (Nesse ٢٠٠٠).

الولاستونيت Wollastonite

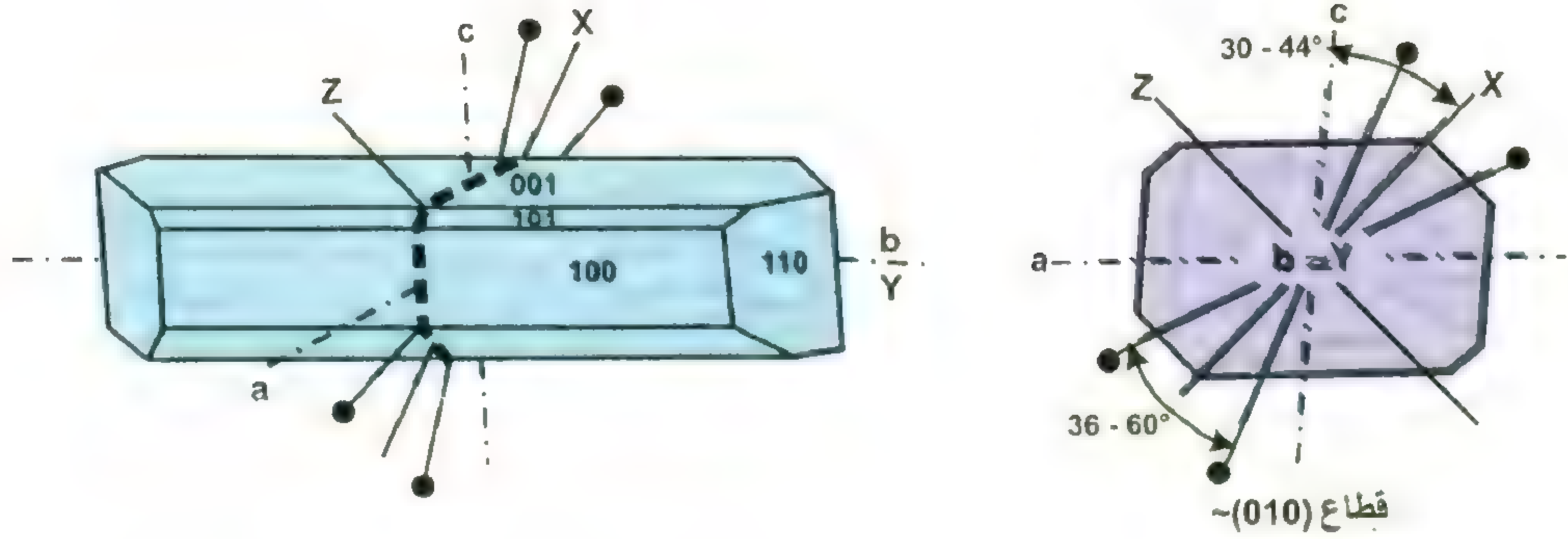


يأتى الاسم تكريماً لأحد باحثي علم المعادن البريطانيين والذي يدعى وليم ولاستون William Wollaston (١٧٦٦ - ١٨٢٨م) والذي أكتشف عنصري البلاديوم Palladium والروديوم Rhodium، كما اخترع مقياس الزوايا بين الوجهية فى البلورات Reflecting Goniometer وكاميرا لوسيدا Lucida.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a = 7.94$ ، $b = 7.32$ ، $c = 7.07$ أنجستروم (شكل ٥-٢١). نسبة أطوال المحاور البلورية أ: ب: ج = $1.0846 : 1 : 0.9658$. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 4$ ، وتبلغ الزوايا بين المحورية $\alpha = 90.033^\circ$ و $\beta = 95.367^\circ$

و $\gamma = 103,433^\circ$ ، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $p\bar{1}$. يوجد الولاستونيت على هيئة صفائح ولكن يكثر وجوده على هيئة كتلية وشعاعية وليفيه أيضاً على شكل حبيبات.



شكل ٥-٢١: العلاقة ما بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الولاستونيت.

كيميائية المعدن

يتكون الولاستونيت من سيليكات الكالسيوم بنسبة ١٠٠% (انظر شكل ٥-٣) ولكنه قد يحتوى على كميات ضئيلة من الألومنيوم والحديد والماغنسيوم والمنجنيز والبوتاسيوم والصوديوم.

الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٥-٢٢: ولاستونيت أبيض اللون.

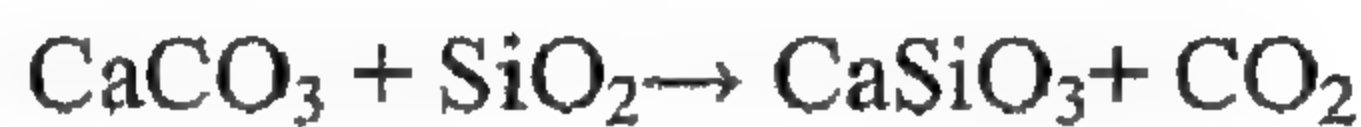
اللون أبيض أو عديم اللون (شكل ٥-٢٢) أو رمادي. البريق زجاجي إلى لؤلؤى في مستويات الإنفصام. المخدش أبيض. غالباً ماتكون البلورات نصف شفافة ونادراً ما تكون شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٥,٥. الإنفصام كامل فى إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. كما يوجد

مستوى ثالث ضعيف للإنفصام {201}. الوزن النوعى بين ٢,٨ و ٢,٩.

يتميز الولاستونيت تحت الميكروسكوب بصفاء اللون وقرينة الانكسار المزدوج المنخفضة والإنطفاء الموازي. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1.615 - 1.646$ وبيتا $(\beta) = 1.627 - 1.659$ وجاما $(\gamma) = 1.629 - 1.662$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.0140 - 0.0160$ والزاوية البصرية $(2V) = 36 - 60^\circ$.

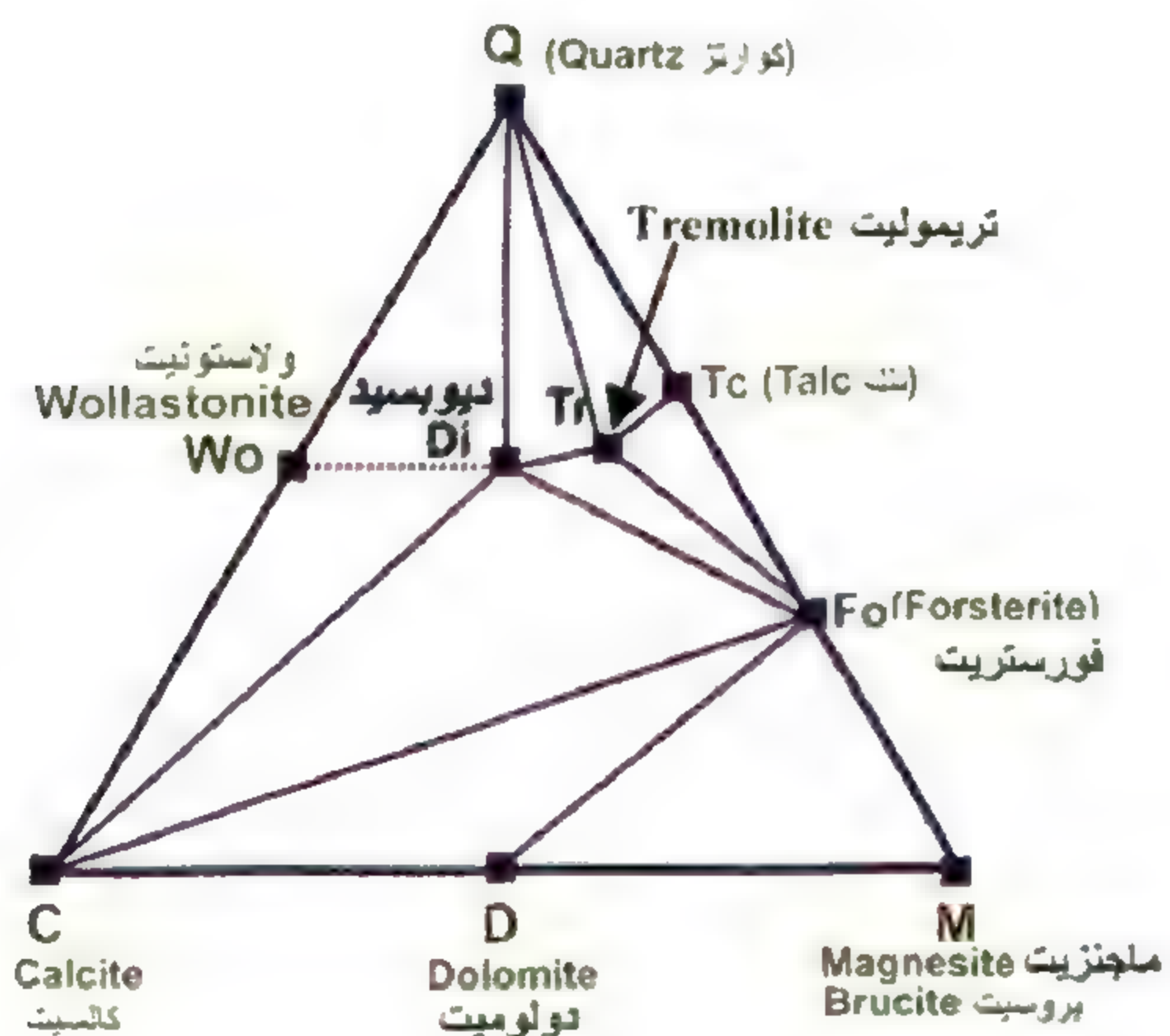
التواجدات والصحة المعدنية

يوجد معدن الولاستونيت بكثرة في صخور السكارن أو صخور التحول التلامسي. ينتج الولاستونيت من تفاعل كربونات الكالسيوم (الكالسيت) مع الكوارتز عند حوالي 640° درجة مئوية وضغط يساوي ١ كيلو بار أو حوالي 680° درجة مئوية وضغط يساوي ٢ كيلو بار حسب التفاعل الآتي (شكل ٥-٢٣):



ولاستونيت كوارتز كالسيت

شكل ٥-٢٣: الصحة المعدنية المتكونة من تحول صخور جيرية عند درجة حرارة $640 - 680^\circ$ درجة مئوية (الفيلالي ٢٠٠٥).



يتم التفاعل السابق غالباً عند تداخل جسم ناري بصخور الحجر الجيري. من المعادن المصاحبة: الجارنت (الجروسيلار والأندرايت) والديوبسيد والتريموليت والإبيدوت والبلاجيوكليز والكالسيت والفيزوفيانيت. هناك العديد

من أماكن تواجد الولاستونيت ومنها: مناطق فرنكلين وتكساس وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وبركان مونت سوما Monte Somma بإيطاليا وبيرهينيمي Perheniemi بفنلندا وساكسوني بألمانيا وأيضاً بالمكسيك واليونان والصين وكندا وسويسرا.

الاستخدامات

يستخدم الولاستونيت في صناعة السيراميك حيث يساعد على تقليل عمليات الإنكماش وظهور الغازات أثناء عمليات التسخين، كما يساعد على تقوية حرارة التسخين ويقلل عيوب التشقق وعيوب الطبقة الملساء بالسيراميك. كما يستخدم في صناعة الدهانات حيث يساعد على زيادة مقاومة الدهان لعمليات التجوية كما يقلل إستهلاك المواد الصبغية وفي صناعة البلاستيك حيث يعمل الولاستونيت على تحسين قوى الشد والمرونة للبلاستيك. كما يحل الولاستونيت محل الأسبستوس في كثير من الصناعات. ويستخدم الولاستونيت أيضاً في صناعة المواد اللاصقة والمنتجات ذات الإحتكاك مثل فرامل السيارات ومواد اللحام والمواد المقاومة للحرارة وفي صناعة المطاط.

الرودونيت Rhodonite

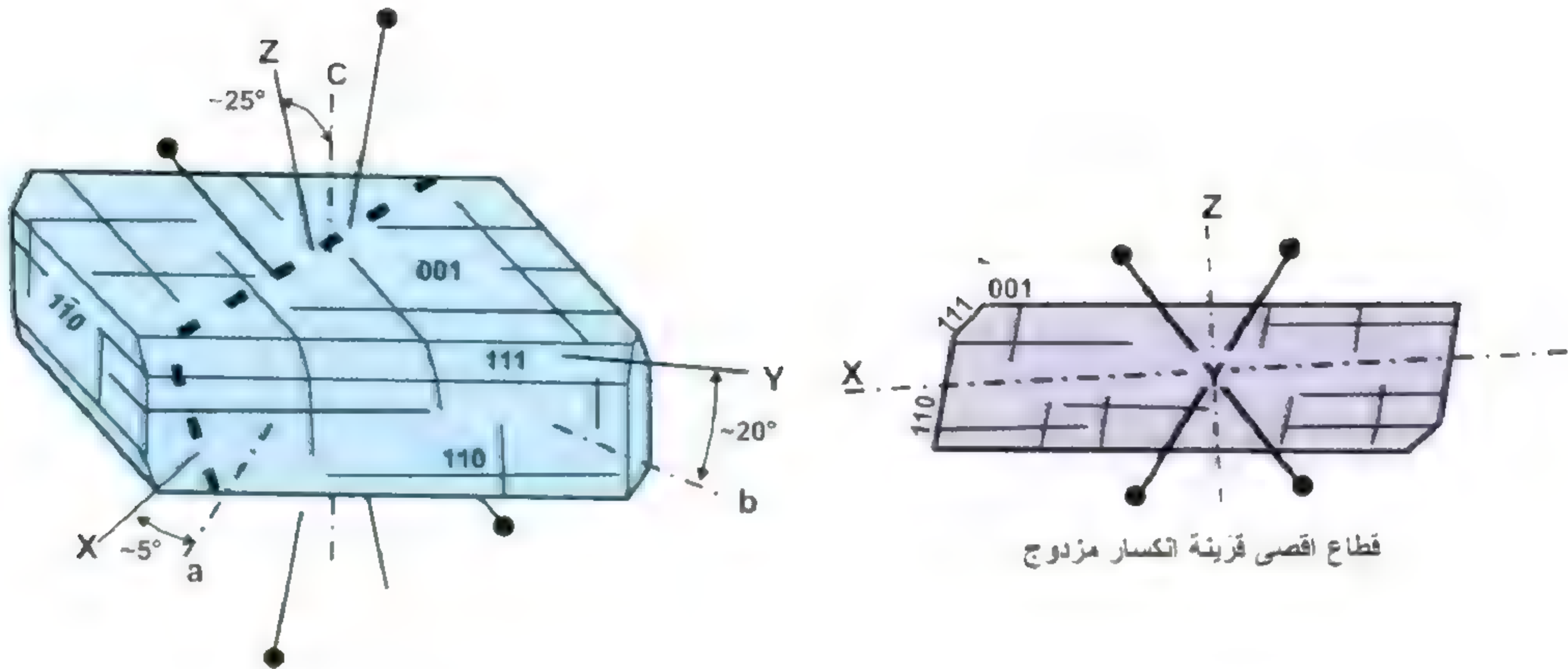


يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية Rhodon والتي تعني "وردي" مشيراً إلى اللون الوردي المميز للرودونيت.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيطة الميول الثلاثة وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 7.68$ ، $b = 11.82$ ، $c = 6.71$ أنجستروم (شكل ٥-٢٤). وتبلغ الزوايا بين المحورية $\alpha = 108.98^\circ$ و $\beta = 102.92^\circ$ و $\gamma = 82.52^\circ$ ومجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 2$ ، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $p\bar{1}$.

تتخذ البلورات هيئة منشورية متماسكة أو منفصمة وعلى هيئة كتلية وحبيبات خشنة أو دقيقة الحجم.



شكل ٥-٢٤: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الرودونيت.

كيمائية المعدن

يتكون الرودونيت من سيليكات المنجنيز ويحتوى أحياناً على كمية من الكالسيوم والزنك والحديد. يأتي اللون الوردي المميز للرودونيت من وجود المنجنيز ثنائي التكافؤ. يتأكسد المعدن ويكون قشرة سوداء اللون أو بنية عند تعرضه للرطوبة تحت درجات حرارة منخفضة. ومن الممكن أيضاً أن يتحول الرودونيت بفعل عوامل التجوية إلى معدن الرودوكروزييت أو أكاسيد وهيدروكسيدات المنجنيز. قد يحل بعض من الكالسيوم محل المنجنيز بالبنية البلورية للرودونيت وعند زيادة محتوى الكالسيوم بالدرجة الكافية فإنه يتحول إلى معدن بستميت Bustamite.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يعتبر الرودونيت من المعادن الجذابة والتي تستخدم في صناعة الحلي ويرجع ذلك إلى لونه الوردي أو الأحمر أو البرتقالي (شكل ٥-٢٥)، ويوجد أحياناً على شكل أسود عند زيادة نسبة الحديد به أو بتعرضه لعمليات

التجوية. البريق زجاجي إلى لؤلؤي بالأسطح المصقولة. المخدش أبيض. عادةً تكون البلورات نصف شفافه ونادراً ما تكون شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥,٥ و ٦,٥. الانفصام كامل في إتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠° حيث يكون منشور ذو مقطع عرضي مستطيل. يتراوح الوزن النوعي بين ٣,٤ و ٣,٧. تحت الميكروسكوب، يبدو المعدن عديم اللون إلى وردي فاتح، كما يظهر تغير لوني ضعيف. يتميز المعدن بألوان التداخل الصفراء من الرتبة الأولى وزاوية الإنطفاء المائلة. تقل قيم معاملات الانكسار مع زيادة محتوى الكالسيوم. المعدن ثنائي المحور موجب وتبلغ معاملات انكساره ألفا $(\alpha) = 1,711 - 1,738$ وبيتا $(\beta) = 1,714 - 1,741$ وجاما $(\gamma) = 1,724 - 1,751$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,0130$ والزاوية البصرية $(2V) = 63^\circ - 76^\circ$.

(ب)



(أ)



شكل ٥-٢٥: (أ) رودونيت وردي اللون مع قليل من الكوارتز. (ب) رودونيت أحمر اللون بصحبة سبساتين بمنطقة بروكين هيل باستراليا. (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=980)

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الرودونيت ببعض رواسب خامات المنجنيز والحديد. غالباً ما يوجد مصاحباً لمعادن الزنك. ومن المعادن المصاحبة الأخرى: الكالسيت والرودوكروزييت والبستاميت والبيرولوسيت والتيفرويت Tephroite

والزنيكيت والويليميت والكوارتز. ومن أشهر أماكن تواجده جبال الأورال بروسيا وبروكين هيل بأستراليا Broken Hill والسويد والبرازيل والولايات المتحدة الأمريكية (كاليفورنيا وجبال الروكي ونيوجيرسي).

الاستخدامات

يستخدم الرودونيت بشكل أساسي كمعدن شبه كريم وكحجر زينة وإلى حد ما كخام للمنجنيز.

البيكتوليت Pectolite



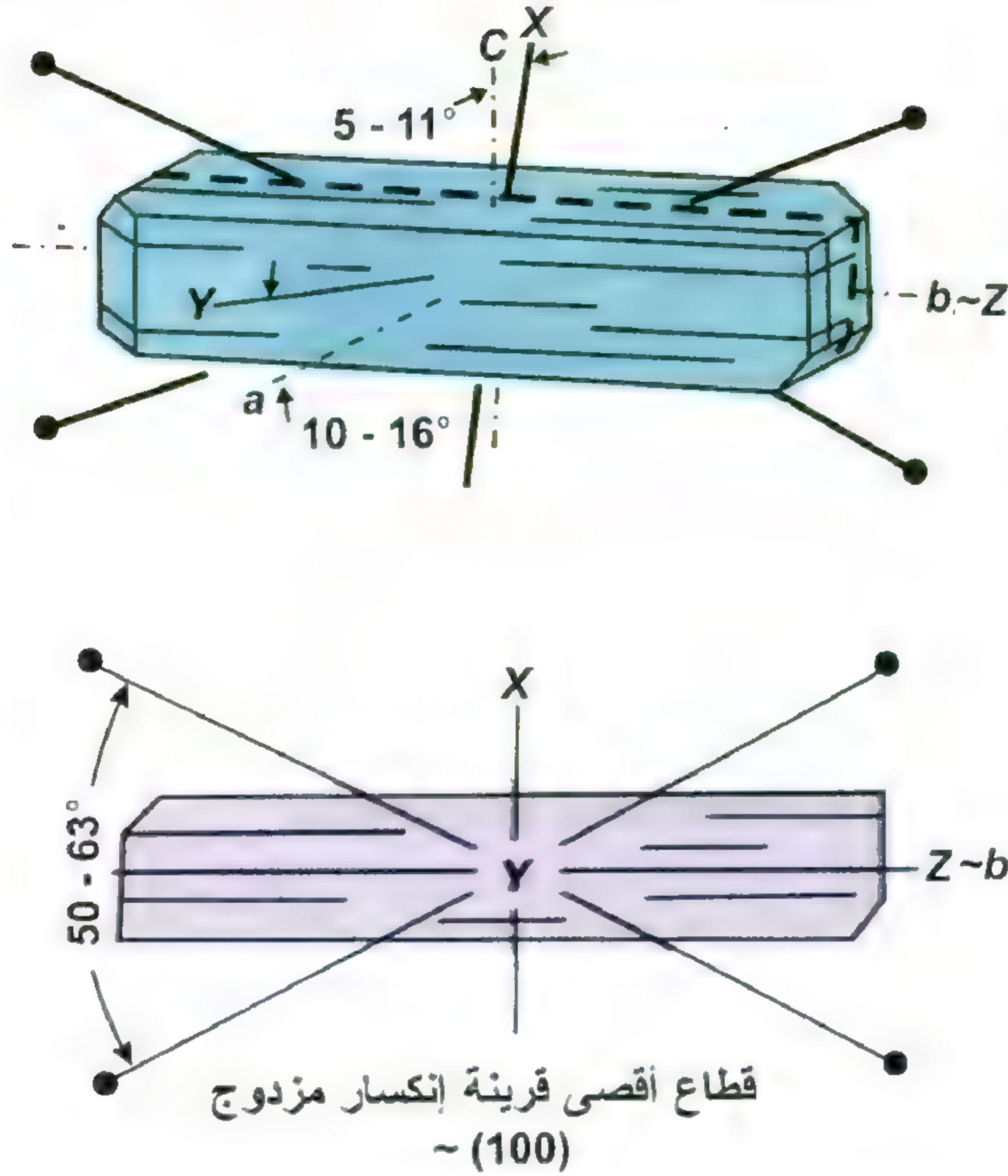
يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *pektos* والتي تعني "وضعوا سوياً بشكل جيد Well Put together" ويشير الاسم إلى البنية المتراسة للمعدن.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 7.99$ ، $b = 7.03$ ، $c = 7.03$ أنجستروم (شكل ٥-٢٦) ونسبة أطوال المحاور البلورية أ: ب: ج = ١: ١.١٣٧: ١. وتبلغ الزوايا بين المحورية $\alpha = 90.51^\circ$ و $\beta = 95.21^\circ$ و $\gamma = 102.53^\circ$. مجموع مامتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) = ٢، مجموعة النقطة $\bar{1}$ والمجموعة الفراغية $p\bar{1}$. عادةً توجد بلورات المعدن في شكل ليفي أو إبري (شكل ٥-٢٧) وأحياناً تشكّل البلورات الإبرية الشعاعية كتل صماء.

كيمائية المعدن

يتكون المعدن من عناصر الكالسيوم والصوديوم والسيليكون والهيدروجين والأكسجين وتوافق هذا العناصر صيغته الكيميائية المثالية، مع كميات بسيطة من البوتاسيوم والحديد والماغنسيوم والألومنيوم.



شكل ٥-٢٦: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن البيكتوليت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن عديم اللون أو أبيض أو رمادي (شكل ٥-٢٧). البريق زجاجي إلى حريري. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٤,٥ و ٥ والانقسام كامل في اتجاهين بينهما زاوية تقترب من ٩٠°. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,٧ و ٢,٩. تحت الميكروسكوب، يبدو المعدن عديم اللون وذو تضاريس عالية وقرينة انكسار مزدوج متوسطة، كما يظهر انقسام كامل في اتجاهين مع إنطفاء متوازي. المعدن ثنائي المحور موجب، وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1,594 - 1,611$ وبيتا $\beta = 1,603 - 1,614$ وجاما $\gamma = 1,631 - 1,642$ وقرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,032 - 0,037$ والزاوية البصرية $(2V) = 50^\circ - 63^\circ$.



شكل ٥-٢٧: بلورات إبرية عديمة اللون من البيكتوليت بمعدن الكالسيت (مصفر اللون) من محجر بودريتي، كوبيك، كندا، Poudrette quarry, Québec, Canada

<http://www.johnbetts-fineminerals.com>

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد البيكتوليت غالباً على شكل ميجدالي ومالي للفجوات بصخور البازلت وقواطع الديابيز Diabase والصخور الأخرى المشابهة. كما يتواجد كمعدن ثانوي بالصخور النارية والصخور المتحولة الكلسية. من المعادن المصاحبة: معادن الزيوليت والبيرهنيت والكالسيت ومن أشهر أماكن تواجده: مناطق فرانكلين وكاليفورنيا وباتيرسون ونيوجيرسي بالولايات المتحدة الأمريكية وفي إيطاليا وإنجلترا.

مجموعة الأمفيبول

Amphibole group

يرجع اسم الأمفيبول إلى الكلمة الإغريقية *amhp-ibolos* والتي تطلق على التريموليت والأكتينوليت والهورنبلند، وفيما بعد تم إطلاق هذا الاسم على مجموعة الأمفيبول بالكامل. تعتبر مجموعة الأمفيبول من أكثر مجاميع المعادن المعقدة كيميائياً في الطبيعة، كما تتميز بطريقة رص معينة لذرتها والتي تعرف باسم سلسلة السيليكات المزدوجة Double silicate chain. وقد ساعدت التقنيات الحديثة (مثل حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction

والمسبار الإلكتروني (Microprobe) في التعرف على الأنواع المختلفة من الأمفيبول.

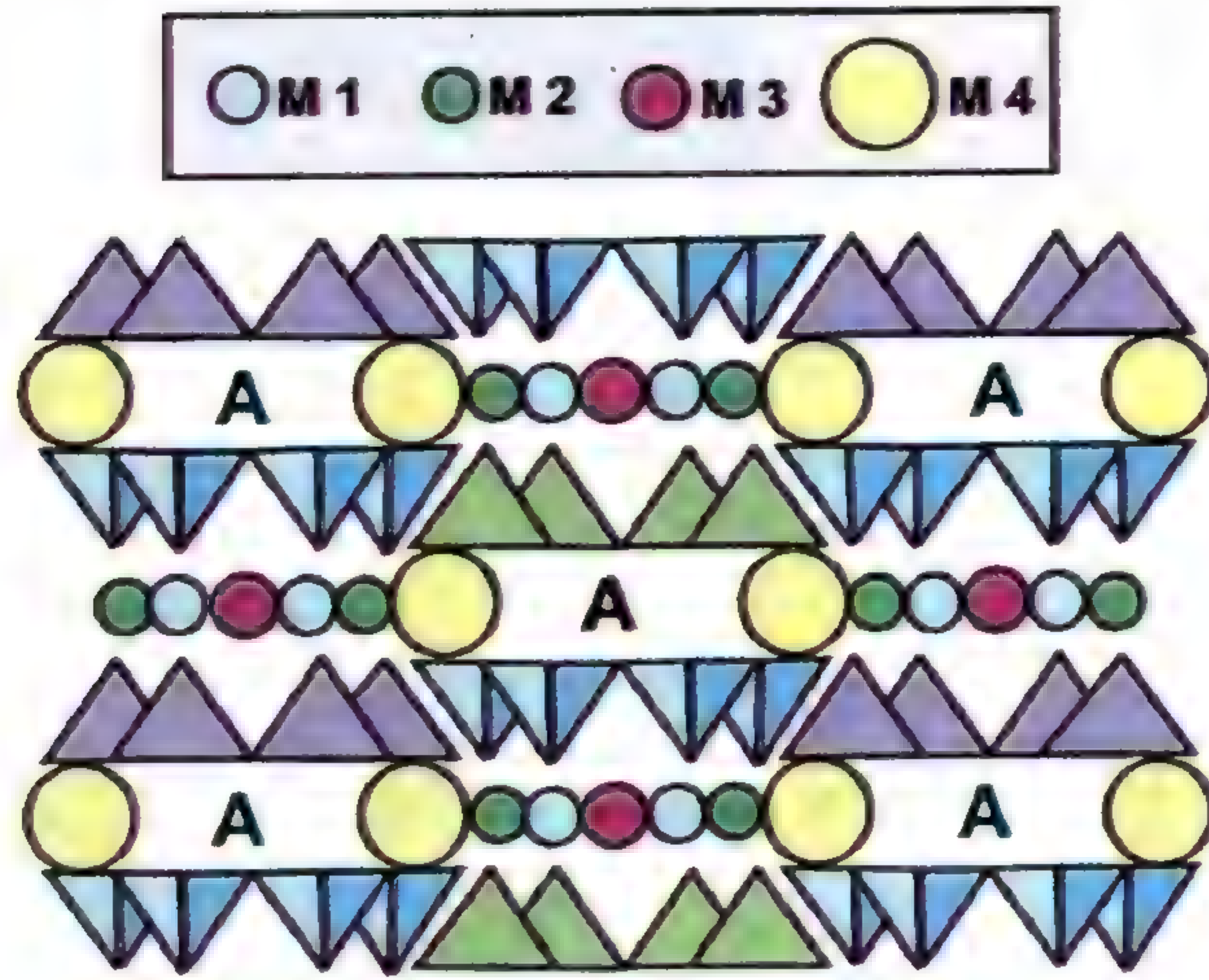
البنية البلورية

تتشابه البنية البلورية لمعادن الأمفيبول فيما بينها ولكن يكمن الاختلاف في أنظمة التبلور (المعنى القائم أو الميل الواحد)، يتضح هذا التشابه البنائي في الزوايا بين الأوجه المنشورية التي تتراوح بين ٥٦ و ١٢٤ درجة وأيضاً في نوعية الانفصام الموازي للمنشورات. يوضح جدول (٥-٣) أبعاد خلايا الوحدة وعدد ما تمتلكها من ذرات (Z) لبعض أنواع الأمفيبول.

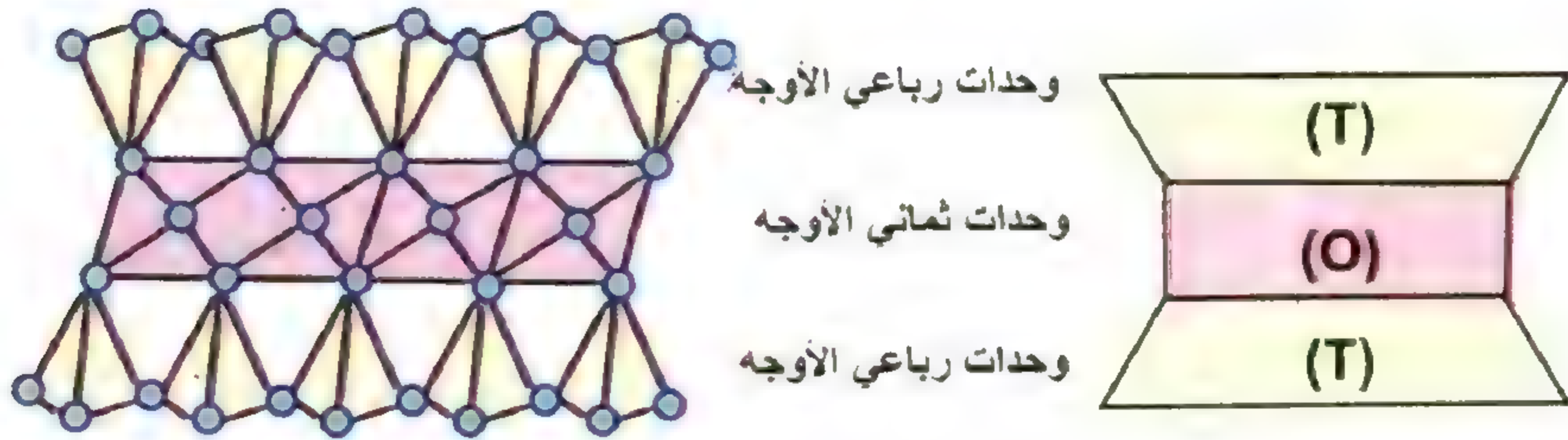
تتكون الوحدة الأساسية بالبنية البلورية لمعادن الأمفيبول من سلاسل مزدوجة من رباعي الأوجه السيليكاتي. تمتد هذه السلاسل موازية للمحور البلوري "c"، حيث تواجه قواعد رباعيات الأوجه بأحد السلاسل قواعد رباعيات الأوجه بالسلسلة الأخرى، وأيضاً تواجه قمم رباعيات الأوجه قمم رباعيات الأوجه بالسلسلة الأخرى (شكل ٥-٢٨أ). يؤدي هذا الترتيب الهندسي إلى وجود خمس مواقع بنائية مختلفة بين هذه السلاسل. تتواجد المواقع M1 و M2 و M3 بين قمم رباعيات الأوجه المتسلسلة، بينما يتواجد موقعي A, M4 بين قواعد هذه الرباعيات.

تشكل السلسلتين وما تحتويهما من مواقع M1, M2, M3 بنية بلورية محاكية للسيليكات الصفائحية من نوع "T-O-T" (شكل ٥-٢٨ب). ترتبط طبقات TOT مع بعضها عن طريق كاتيونات بمواقع A و M4 مكونة البنية البلورية للأمفيبول حيث يحدث الانفصام بين هذه الطبقات (شكل ٥-٢٨ج). تتميز البنية البلورية لمعادن الأمفيبول بإمكانية إعادة الترتيب للكاتيونات بمواقع رباعي وثمانى الأوجه. يعتمد هذا التغيير أو إعادة الترتيب إلى حد كبير على ظروف درجات الحرارة.

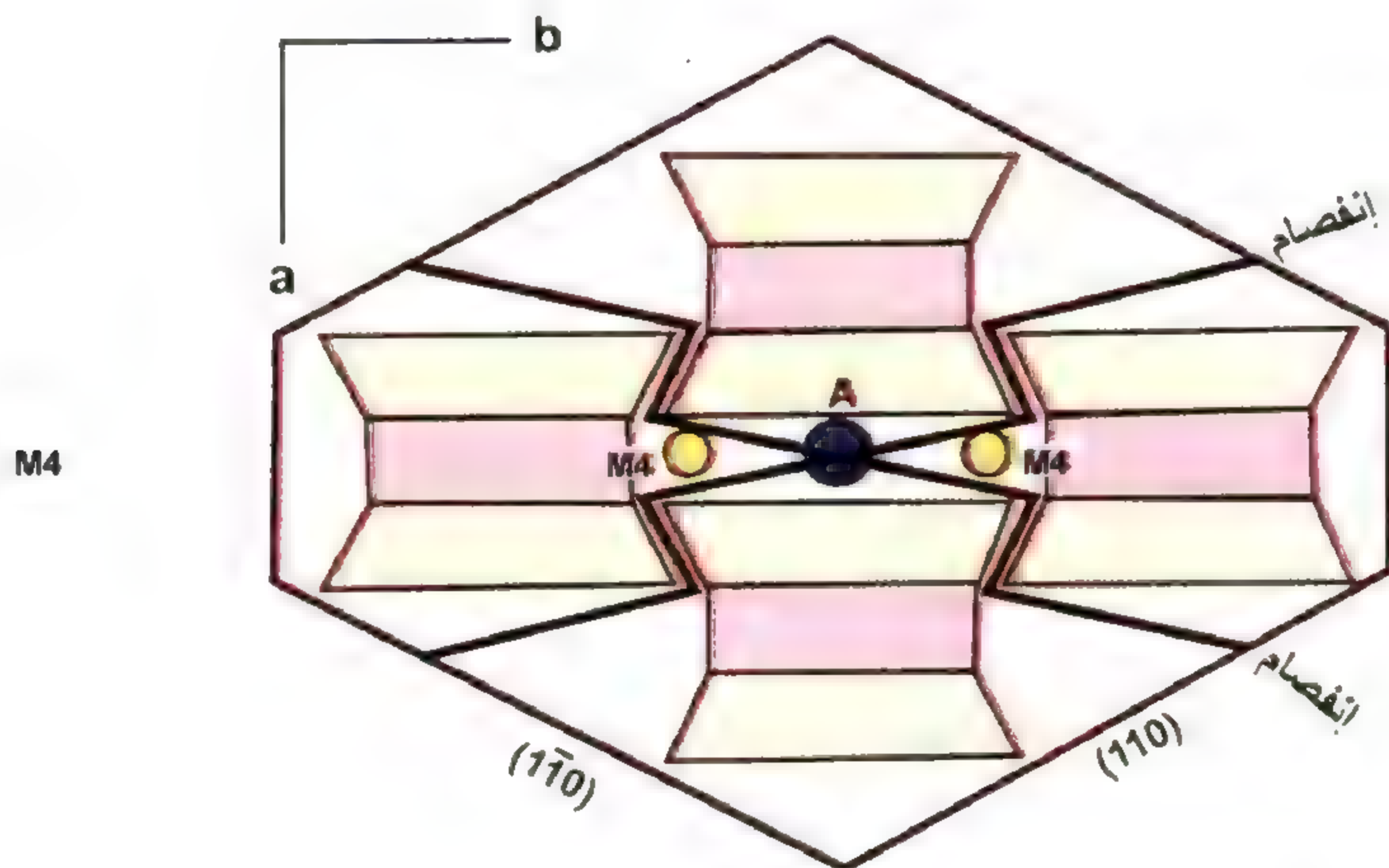
(أ)



(ب)



(ج)



شكل ٥-٢٨: (أ) البنية البلورية لمعادن الأمفيبول. (ب) ترتيب وحدات رباعي وثمانى الأوجه على هيئة "T-O-T". (ج) إتجاهي الإنقسام خلال طبقات "T-O-T". (محور عن نيسي). (Nesse ٢٠٠٠).

جدول ٥-٣: أبعاد الخلية لبعض معادن الأمفيبول.

المعدن	الصيغة الكيميائية	(أ) أجستروم	(ب) أجستروم	(ج) أجستروم	β درجة	Z
هورنبلند	(Si,Al) ₈ O ₂₂ (OH) ₂ (K,Na) _{0.1} (Ca,Na,Fe,Mg) ₂ (Mg,Fe,Al) ₅	٩,٨٩	١٨,٠١	٥,٣٣	١٠٥	٢
كمنجتونيت	(Mg,Fe) ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH)	٩,٥١	١٨,١٩	٥,٣٣	١٠٢	٢
جرونيريت	Fe ₇ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	٩,٥٧	١٨,٢٢	٥,٣٣	١٠٢	٢
تريموليت	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	٩,٨٦	١٨,١١	٥,٣٤	١٠٥	٢
أكتينوليت	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	٩,٨٤	١٨,١٠	٥,٢٧	١٠٥	٢
جلوكوفان	Na ₂ Mg ₃ Al ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	٩,٧٨	١٧,٨٠	٥,٣٠	١٠٤	٢
ريبيكيت	Na ₂ (Fe,Mg) ₃ (Fe,Al) ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	٩,٧٧	١٨,٠٣	٥,٣٤	١٠٤	٢

تصنيف معادن الأمفيبول

بذلت منظمة علم المعادن الدولية IMA مجهودات عديدة لوضع تصنيف مبسط لمعادن الأمفيبول. ففي عام ١٩٧٨، تم تصنيف الأمفيبول بواسطة ليبك وآخرون (١٩٧٨) Leake et al. (IMA78). ومع تطور المعلومات والمفاهيم الحديثة عن التغيرات التي تحدث بالبنية البلورية للأمفيبول، تم تحديث هذا التصنيف في عام ١٩٩٧ وتحديد أربع مجاميع رئيسية للأمفيبول بواسطة ليبك وآخرون (IMA97). وفي عام ٢٠٠٤، تم إضافة مجموعة خامسة (ليبك وآخرون ٢٠٠٤) وبذلك يمكن القول بأن هناك خمس مجموعات رئيسية للأمفيبول تعتمد في تصنيفها في المقام الأول على المحتوى الكيميائي بالصيغة العامة للأمفيبول:



حيث A: موقع واحد بوحدة الصيغة

B: موقعين M4 بوحدة الصيغة

C: مكون من خمس مواقع ممثلة في موقعين M_1 ، موقعين M_2

وموقع واحد M_3 بوحدة الصيغة

T: ٨ مواقع بوحدة الصيغة

OH: موقعين بوحدة الصيغة

يوضح جدول (٥-٤) الأيونات المختلفة والمواقع التي تشغلها بالصيغة العامة للأمفيبول (إليك وآخرون ٢٠٠٤).

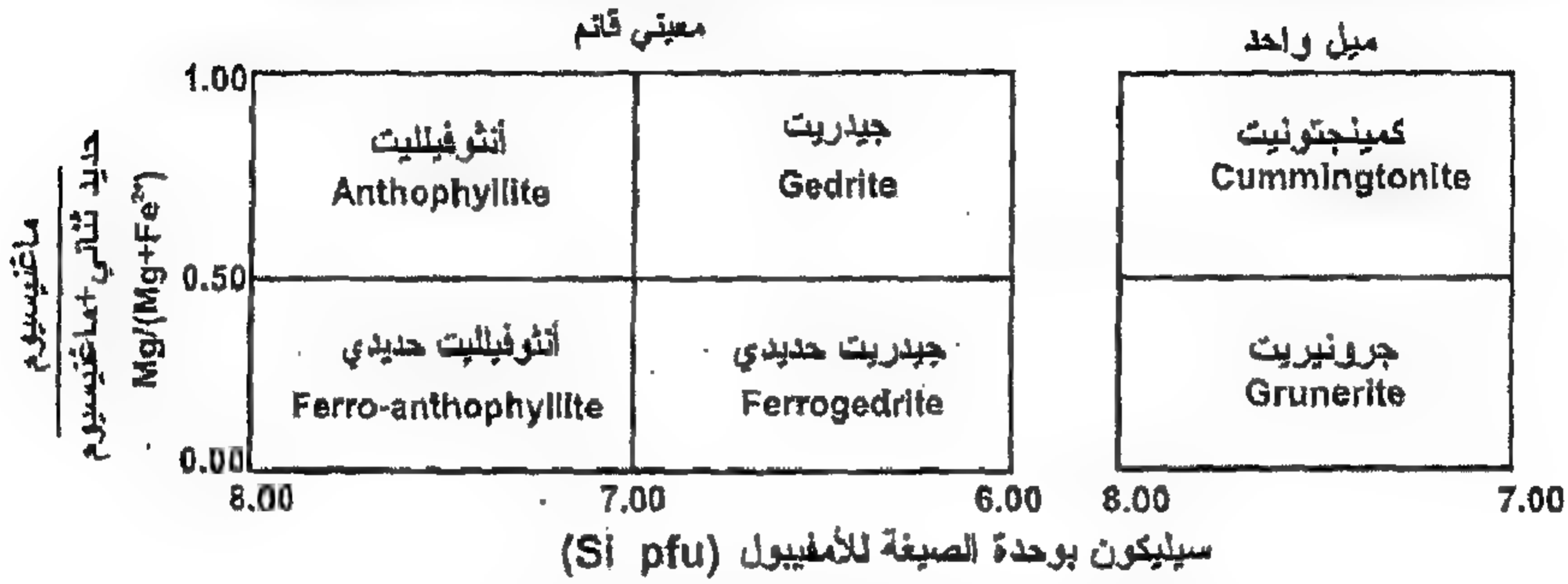
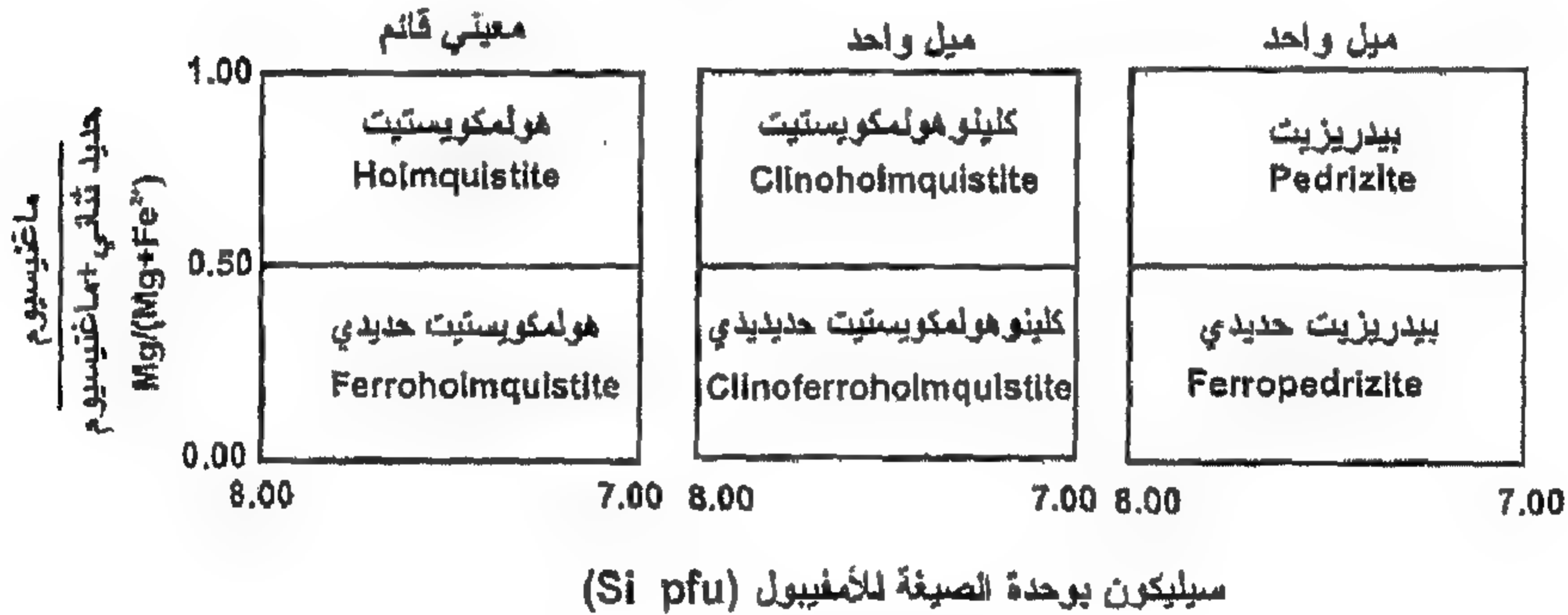
جدول ٥-٤: الأيونات المختلفة والمواقع التي تشغلها بالصيغة العامة للأمفيبول.

A	B	C	T	OH	الأيونات
✓					البوتاسيوم أو الموقع الفارغ (□) empty site
✓	✓				الصوديوم
	✓				الكالسيوم
	✓	✓			الأيونات من النوع L (ماغنسيوم، حديد ثنائي، منجنيز، ليثيوم Li وبعض الأيونات المتشابهة في الحجم مثل الزنك والنيكل والكوبالت)
		✓			الأيونات من النوع M (ألومنيوم، حديد ثلاثي وبشكل نادر المنجنيز M^{3+} والكروميوم Cr^{3+})
		✓	✓		الأيونات عالية التكافؤ: Ti^{4+} Zr^{4+} Si^{4+}
				✓	الهيدوكسيل (OH) والفلورين (F) والكلورين (Cl) والأكسجين

١- مجموعة أمفيبول الماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم: ويكون فيها مجموع كل من الكالسيوم والصوديوم بالموقع B أقل من واحد ($Ca+1$) $[Na]_B < 1.00$ ، ويكون مجموع الأيونات من النوع L (الماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم) أكبر من أو يساوي واحد ونصف (Mg, Fe, Mn, Li) $[Li]_B \geq 1.5$. يوضح شكل (٥-٢٩) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.

المجموعة الأولى: أمفيبول الماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم

Group 1 : Mg-Fe-Mn-Li amphiboles

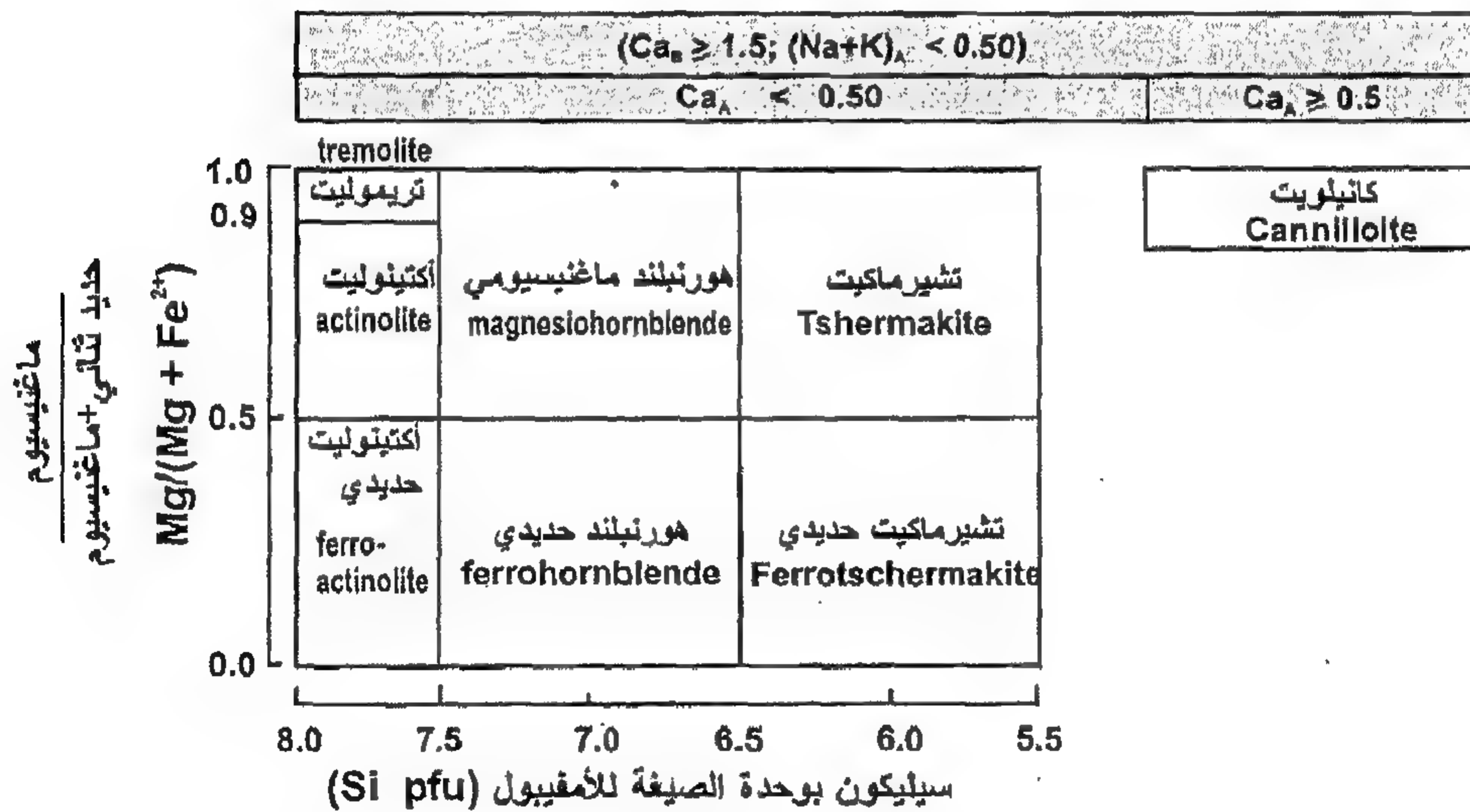
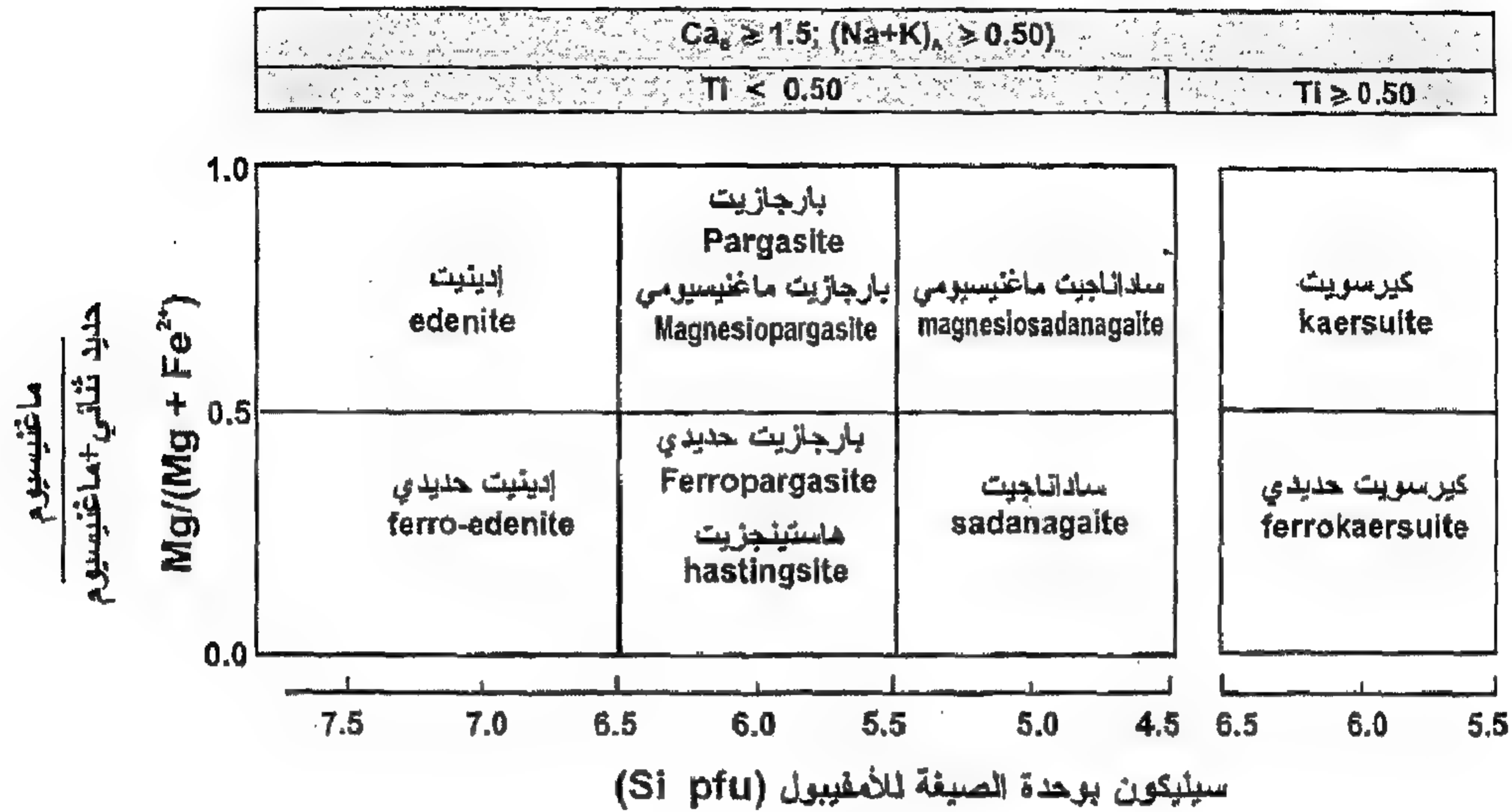
 $(^{\circ}\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Li}) \geq 1.50; ^{\circ}\text{Li} < 1.00; ^{\circ}\text{Li} < 0.50, \text{ i.e. Li-Poor}$

 $(^{\circ}\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Li}) \geq 1.50; ^{\circ}\text{Li} \geq 1.00; \text{ i.e. Li-rich}$
 $^{\circ}\text{Li} < 0.50$ $^{\circ}\text{Li} \geq 0.50$ 

شكل ٥-٢٩: تصنيف مجموعة الأمفيبول الغني بالماغنسيوم والحديد والمنجنيز والليثيوم. (لييك وآخرون ١٩٩٧).

٢- مجموعة الأمفيبول الكالسي: يكون الكالسيوم في هذه المجموعة أكبر من أو يساوي ١,٥ في الموقع B. أما الصوديوم والبوتاسيوم بالموقع A، فيكونا أحياناً أكبر من أو يساوي ٠,٥، $(\text{Na}+\text{K})_A \geq 0.5$ ، في هذه الحالة يتواجد التيتانيوم في الموقع A. كما يكون مجموع البوتاسيوم والصوديوم في أحيان أخرى أقل من ٠,٥ في الموقع A وفي هذه الحالة يتواجد الكالسيوم أيضاً في الموقع A. يوضح شكل (٥-٣٠) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.

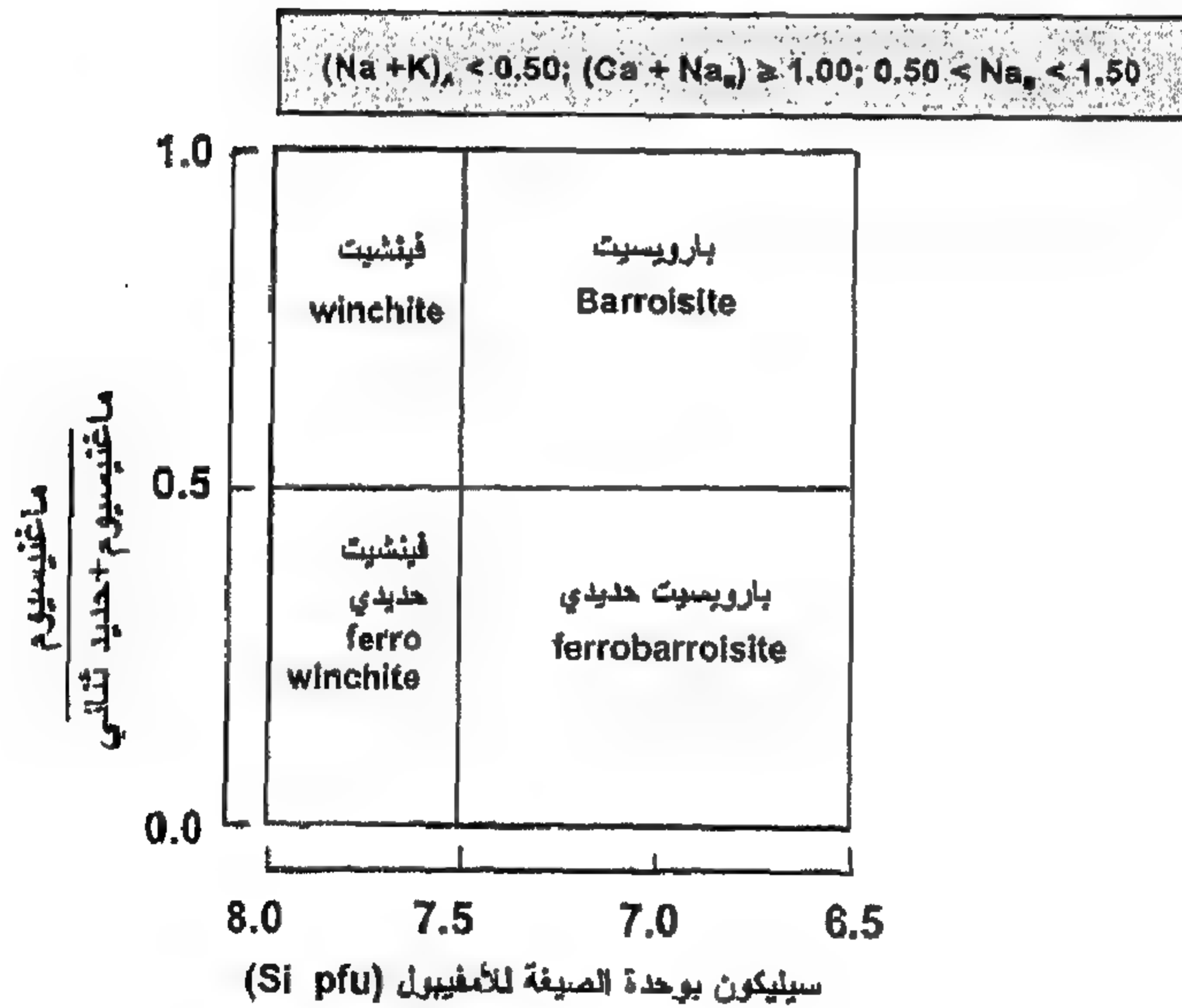
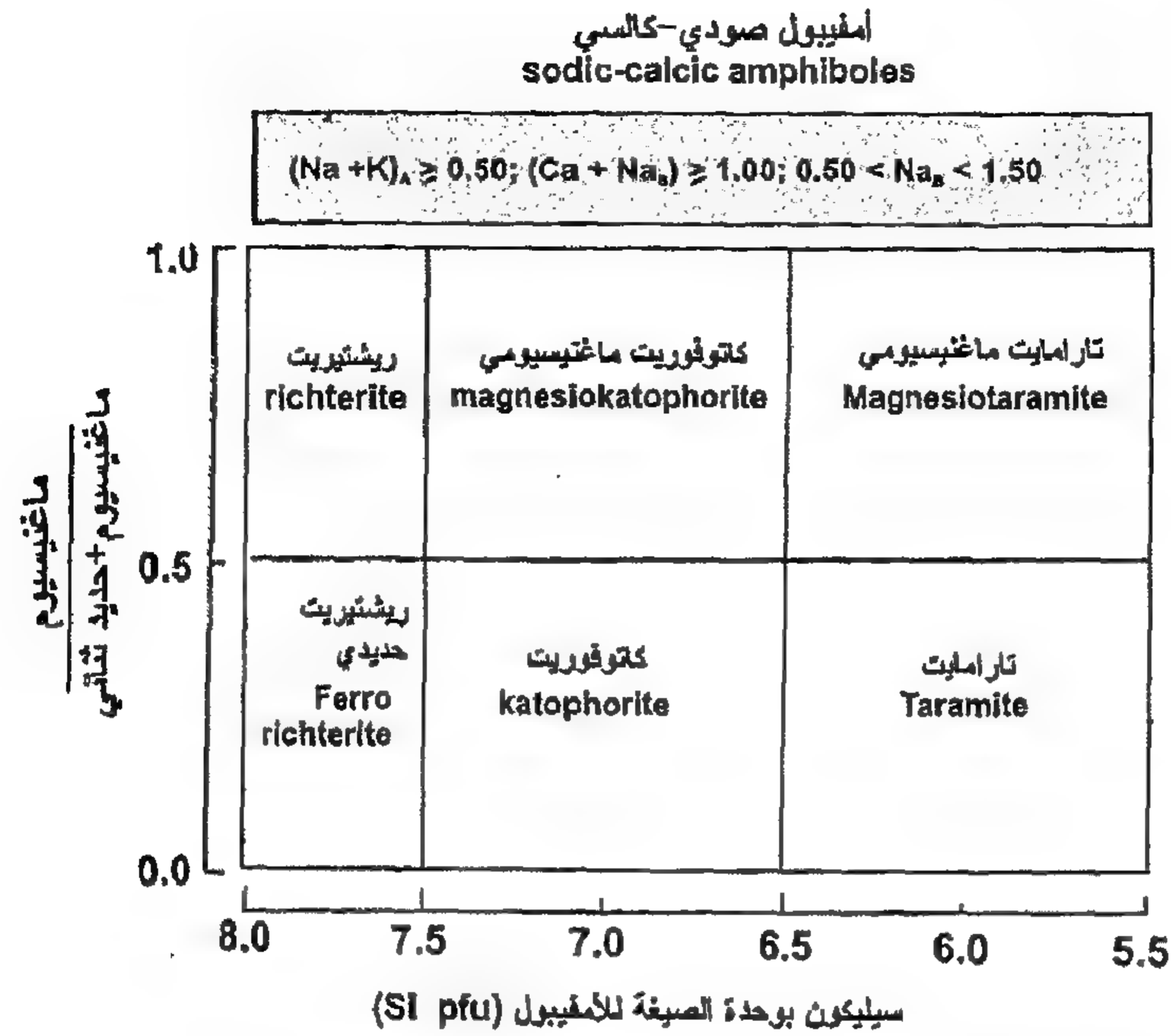
المجموعة الثانية : الأمفيبول الكالسي

Group 2 : Calcic amphiboles



شكل ٣٠-٥: تصنيف مجموعة الأمفيبول الكالسي (لييك وآخرون ١٩٩٧).

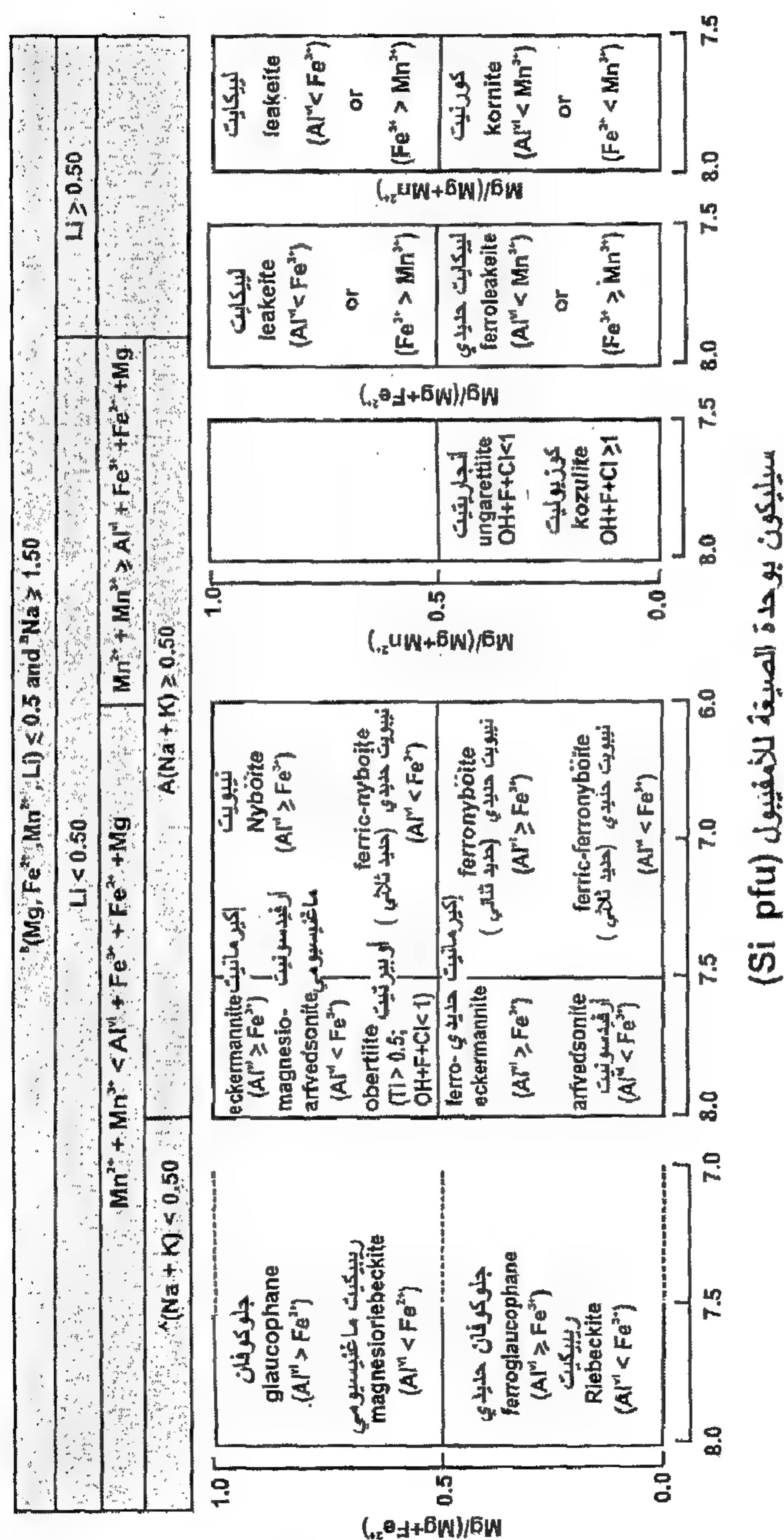
٣- مجموعة الأمفيبول الصودي-الكالسي: ويكون فيها مجموع الكالسيوم والصوديوم بالموقع B أكبر من أو يساوي واحد $(Ca+Na)_B \geq 1$ ، كما يتراوح الصوديوم بالموقع A بين ٠,٥ إلى ١,٥. يوضح شكل (٣١-٥) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.



شكل ٥-٣١: تصنيف مجموعة الأمفيبول الصودي-الكالسي (لييك وآخرون ١٩٩٧).

٤- مجموعة الأمفيبول الصودي: حيث تزيد قيمة الصوديوم بالموقع B عن ١,٥ ($Na_B \geq 1.5$) وتعرف هذه المجموعة سابقاً باسم الأمفيبول القلوي. ولكن في التصنيف الجديد، يشير اسم الأمفيبول الصودي بشكل

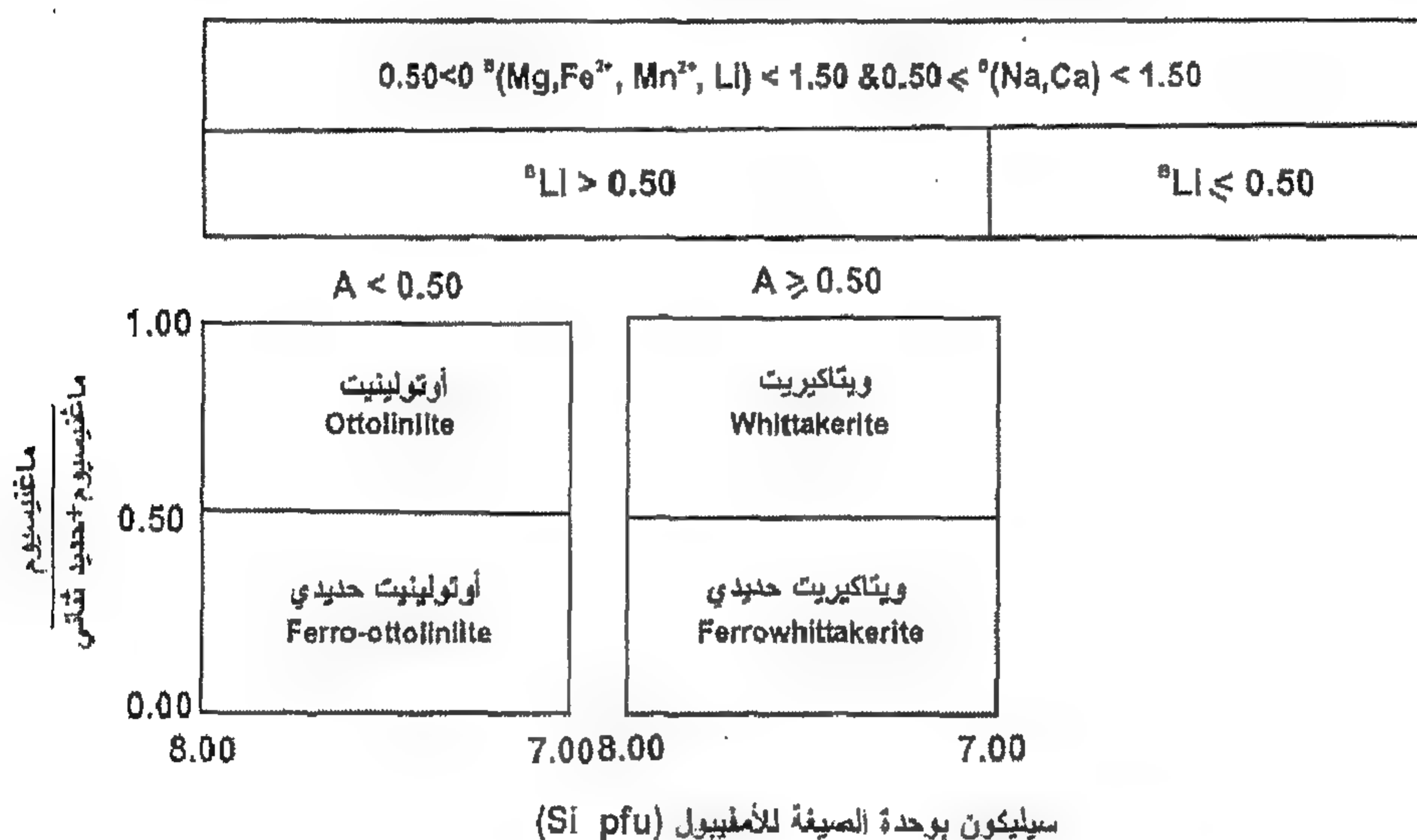
المجموعة الرابعة: الأمفيبول الصودي
Group 4: Sodic amphiboles



شكل ٣٢-٥: تصنيف مجموعة الأمفيبول الصودي (ليك وأخرون ١٩٩٧).

٥- مجموعة أمفيبول الصوديوم-الكالسيوم-الحديد-الماغنسيوم-المنجنيز-الليثيوم: وفيها يكون مجموع الأيونات للمغنسيوم والحديد الثنائي والمنجنيز الثنائي والليثيوم بالموقع B أكبر من ٠,٥ وأقل من ١,٥ $[0.5 < (Mg + Fe^{2+} + Mn^{2+} + Li)_B < 1.5]$. ويكون مجموع كل من أيوني الكالسيوم والصوديوم بالموقع B أكبر من أو يساوي ٠,٥ وأقل من أو يساوي ١,٥ $[0.5 \leq (Ca + Na)_B \leq 1.5 \text{ apfu}]$. يوضح شكل (٥-٣٣) التصنيف التفصيلي لهذه المجموعة.

أمفيبول غني بالصوديوم-الكالسيوم-الماغنسيوم-الحديد-المنجنيز-الليثيوم
Group 5: Na-Ca-Mg-Fe-Mn-Li amphiboles



شكل ٥-٣٣: تصنيف مجموعة أمفيبول الصوديوم-الكالسيوم-الحديد-الماغنسيوم-المنجنيز-الليثيوم (لييك وآخرون ٢٠٠٤).

علاوة على ما سبق، فإنه يمكن أيضاً تصنيف الأمفيبول حسب نظام التبلور إلى:

(١) أمفيولات أحادية الميل **Monoclinic Amphiboles** والتي تشتمل على:

(أ) سلسلة الكمنجتونيت $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

- الجرونيريت Grunerite
- الكمنجتونيت Cummingtonite

• الكمنجتونيت الماغنيسيومي Magnesiocummingtonite

(ب) سلسلة الأكتينوليت Actinolite series:

• التريموليت $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

• الأكتينوليت $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

(ج) الهورنبلند $(\text{K},\text{Na})_{0-1}(\text{Ca},\text{Na},\text{Fe},\text{Mg})_2(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

(د) الأمفيبول الصودي:

• جلوكوفان $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

• ريبكيت $\text{Na}_2(\text{Fe},\text{Mg})_3(\text{Fe},\text{Al})_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

(٢) الأمفيبولات معينة الأوجه Orthorhombic amphiboles

(أ) أنثوفيليت $(\text{Mg},\text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

(ب) جديريت $(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_7(\text{Al},\text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

كيمائية معادن الأمفيبول

تستوعب البنية البلورية للأمفيبول العديد من التبادلات الأيونية مما يؤدي إلى ظهور مدى واسع من التركيب الكيميائي لمعادن الأمفيبول (جدول ٥-٥). تظهر مجموعات الأمفيبول سلاسل متصلة من التفاعلات، مثل سلسلة الأكتينوليت:

تريموليت ← أكتينوليت ← أكتينوليت حديدي



تعتبر كيمائية الأمفيبول ذات أهمية خاصة للمشتغلين بمجال الصخور المتحولة وذلك لحساسية التركيب الكيميائي لمعادن الأمفيبول لمتغيرات الحرارة والضغط مما جعله من المعادن الهامة في تطبيقات مقاييس الحرارة والضغط Geothermobarometry، فمثلاً:

- تزداد نسبة التيتانيوم بالأمفيبول مع زيادة درجة الحرارة
- تزداد قيم الصوديوم بالموقع M_4 مع زيادة الضغط.
- يزداد محتوى الأمفيبول لعناصر الألومنيوم+الحديد الثلاثي+التيتانيوم+الكروميوم بزيادة الضغط.

جدول ٥-٥: التحليل الكيميائي للأمفيبول من مناطق مختلفة.

٤	٣	٢	١	
٤٤,٩٩	٥٠,٤٨	٤٥,٩٩	٤٢,١٠	SiO ₂
١,٣٦٩	٠,٧٢٨	٠,٥٢	٠,٨٣	TiO ₂
١٠,٤٣٩	٥,٣٤٥	١٤,٢٢	١٦,٨٥	Al ₂ O ₃
١٧,٠٥٥	١٧,١٩٣	١,٦٠	٧,٦٩	FeO
٠,٣٥٢	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	MnO
١١,١٨٩	١٢,٠٣٨	١٩,٠٣	١٤,٠٩	MgO
١٠,٧٨٤	١١,٥٣٨	١٣,٩٦	١٣,٧٨	CaO
١,٢٢٦	٠,٩١١	٢,٤٠	١,٨١	Na ₂ O
٠,٤٥١	٠,٠٠٠	٠,٢٩	٠,٤٤	K ₂ O
٩٧,٨٨	٩٨,٢٣	٩٨,٠١	٩٧,٥٩	المجموع

كاتيونات=٢٣ ذرة أكسجين

٦,٦٧٤	٧,٣٤٤	٦,٤١	٦,٠٧	Si
٠,١٥٦	٠,٠٨	٠,٠٦	٠,٠٩	Ti
١,٨٢٣	٠,٩١٥	٢,٣٤	٢,٨٦	Al
٢,٠١٤	١,٦٦٧	٠,١٩	٠,٩٣	Fe ²⁺
٠,١٤٤	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Mn
٢,٤٧٤	٢,٦١١	٣,٩٥	٣,٠٣	Mg
١,٧١٤	١,٧٩٨	٢,٠٨	٢,١٣	Ca
٠,٣٥٣	٠,٢٥٧	٠,٦٥	٠,٥١	Na
٠,١٨٥	٠,٠٠	٠,٠٥	٠,٠٨	K

١= بارجازيت بالصخور الرسوبية المتحولة Metasediments بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية

(درووب والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٢= هورنبند بارجازيتي بالصخور الرسوبية المتحولة بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (درووب

والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٣= هورنبند أكتينوليتي بصخور الأمفيوليت بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية

(الفيلاي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

٤= هورنبند ماغنيسيومي بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية

(الفيلاي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

تابع جدول ٥-٥: التحليل الكيميائي للأمفيبول من مناطق مختلفة.

٨	٧	٦	٥	
٥٩,١٦	٣٨,١٠	٤٢,٤٢	٤٣,٩٢	SiO ₂
٠,٠٠	٠,٠٨	٠,٣٨	٠,٩٦٦	TiO ₂
٠,١٧	٢٨,٤٠	١١,٥٥	١٣,١٧	Al ₂ O ₃
٨,١٥	٧,٦٤	٢٢,٦٨	١٧,٩٨	FeO
٠,١٣	٠,٢٥	٠,٦٠	٠,١٧	MnO
٣٠,٣٠	٠,٠٧	٦,٩٩	٩,٢١	MgO
٠,٢٧	٢٤,٢٩	١٠,٨١	١٠,٩٣	CaO
٠,٠٢	٠,٠٠	١,٤٣	١,٢٥٢	Na ₂ O
٠,٠١	٠,٠٢	١,٥٧	٠,٥١٢	K ₂ O
٩٨,٢٢	٩٨,٨٥	٩٩,٥٤	٩٨,١١	المجموع

كاتيونات-٢٣ ذرة أكسجين

٧,٩٦	٥,٥٠	٦,٥٢	٦,٥٢٨	Si
٠,٠٠	٠,٠١	٠,٠٤	٠,١٠٨	Ti
٠,٠٣	٤,٨٣	٢,٠٩	٢,٣٠٥	Al
٠,٩٢	٠,٩٢	٢,٩١	٢,٣٠٥	Fe ²⁺
٠,٠٢	٠,٠٣	٠,٠٨	٠,٠٢١	Mn
٦,٧٣	٠,٠٢	١,٦٠	٢,٠٤١	Mg
٠,٠٤	٣,٧٦	١,٧٨	١,٧٤١	Ca
٠,٠١	٠,٠٠	٠,٤٣	٠,٣٦١	Na
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٣١	٠,٠٩٧	K

٥ = هورنبلند حديدي بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفاقيت، مصر (عبد النبي وفريش، تحت التحضير
(In preparation).

٦ = هورنبلند إدينيتي حديدي بصخور النيس بمنطقة وادي حيمور-أبوسويل، جنوب الصحراء الشرقية،
مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٢ Abd El-Naby and Frisch)

٧ = تشيرماكيت حديدي بصخور الهورنبلنديت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر
(عبد النبي وفريش ٢٠٠٠ Abd El-Naby and Frisch)

٨ = أنثوفيليت بالصخور فوق المافية المجواه Altered ultramafic rocks بمنطقة وادي حيمور، جنوب
الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٠ Abd El-Naby and Frisch)

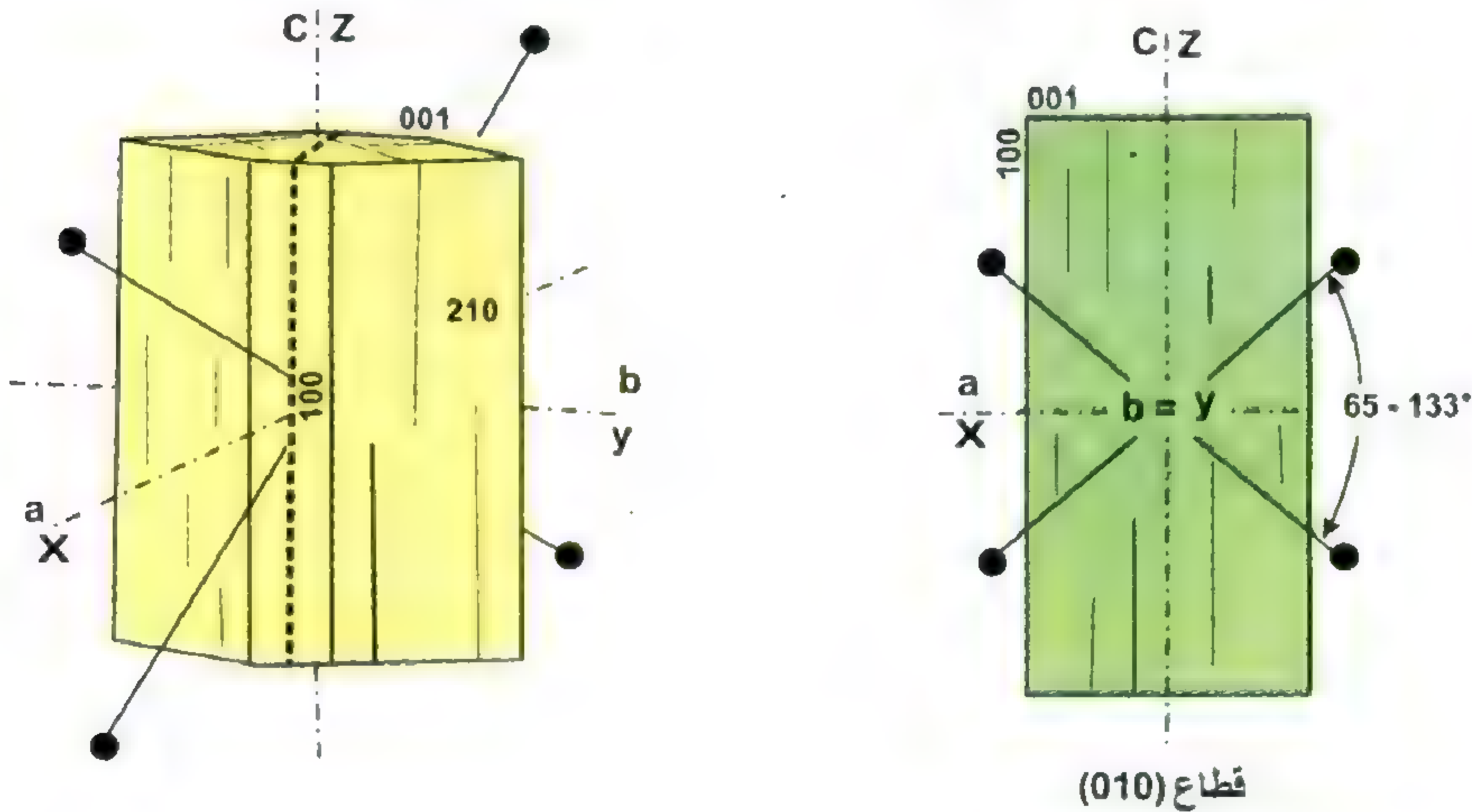
الأنثوفيلليت Anthophyllite



أشتق اسم الأنثوفيلليت من الكلمة اللاتينية *anthophyllum* والتي تعني ورقة نبات القرنفل *clove leaf* ويرجع ذلك إلى لونه المشابه لهذا النبات.

الصفات البلورية

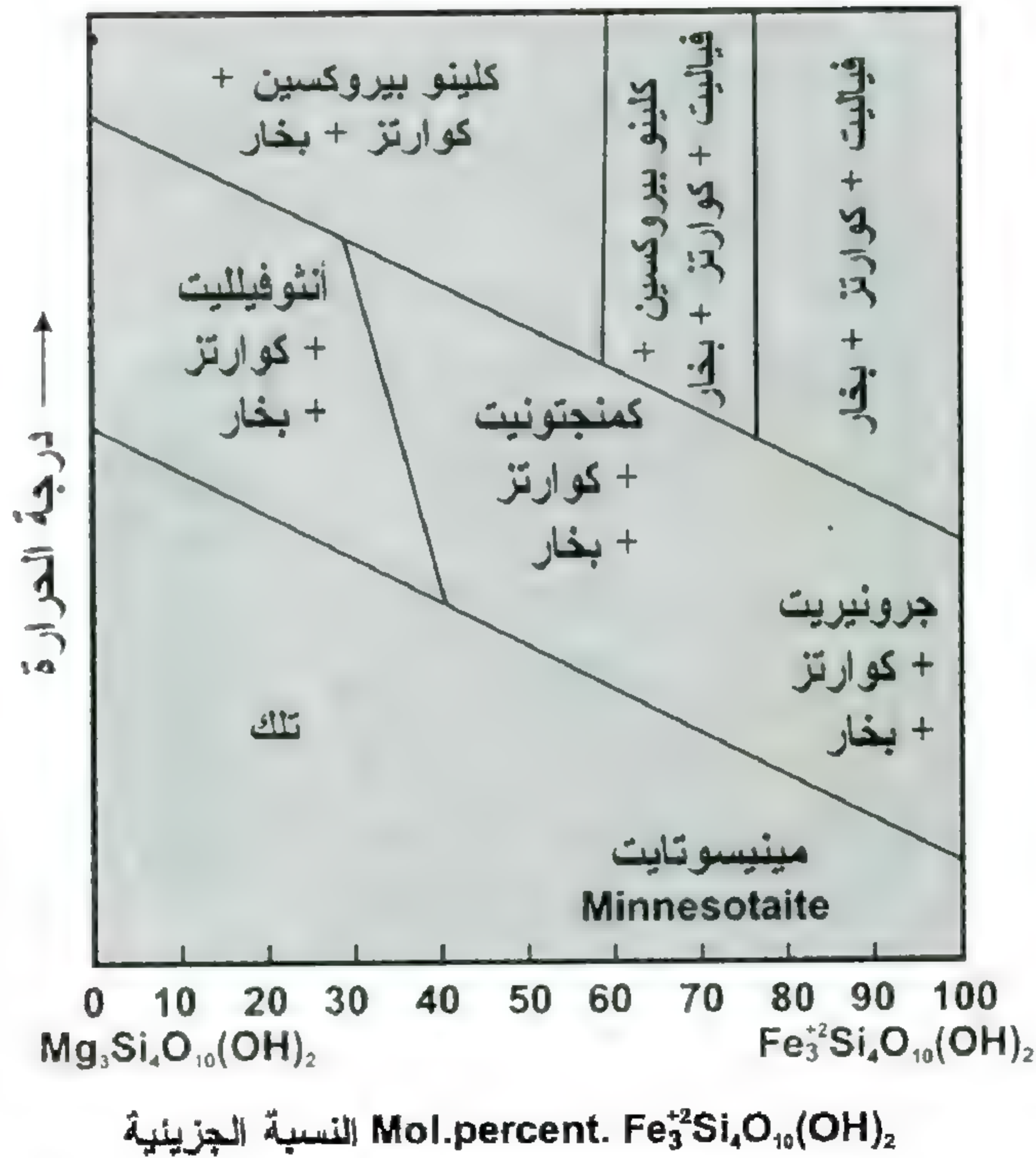
يعتبر الأنثوفيلليت متعدد شكلي للكمجنتونيت حيث يصعب التمييز بينهما في بعض الأحيان ولكن يختلف المعدنين في نظامهما البلوري، حيث يتبلور الأنثوفيلليت في فصيلة المعيني القائم، بينما يتبلور الكمجنتونيت في فصيلة الميل الواحد. تبلغ أبعاد خلية الوحدة للأنثوفيلليت $a=18.06$ ، $b=18.03$ ، $c=5.28$ أنجستروم، مجموعة النقطة $2/m2/m2/m$ والمجموعة الفراغية $P2/n2/m2/a$. تتواجد بلورات المعدن عادةً على شكل منشوري (شكل ٥-٣٤) أو ليفي أو عمداني. كما أن المعدن يتميز بمقطع عرضي على شكل الألماس *Diamond-shaped*.



شكل ٥-٣٤: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الأنثوفيلليت.

كيمائية المعدن

يمثل كل من الأنثوفيليت والجيدريت سلسلة محلول صلب متصلة وخصوصاً عند درجات الحرارة العالية، ولكن تقل نسبة الإمتزاج بينهما عند درجات الحرارة المنخفضة ويظهر عندئذ الجيدريت على شكل شرائح Lamellae موازية للوجهين (010) و (021) بالأنثوفيليت والعكس صحيح. يمثل التبادل الأيوني للحديد والماغنسيوم التفاعل الرئيسي لهذه السلسلة التي تمتد من التركيب $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ إلى $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2$ ويحدث نوع من الإحلال بدرجة أقل للسيليكون بالألومنيوم ومن هنا يوجد نوعين من الأنثوفيليت والجيدريت، أحدهما غني بالألومنيوم والآخر فقير فيه. يتضح من الشكل رقم (٥-٣٥) مدى التطابق في التركيب الكيميائي بين الأنثوفيليت والكمجنونيت عند نسبة ٣٠ إلى ٤٠% من $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2$. كما يوضح الرسم تأثير درجات الحرارة على مدى إستقرارية الأنثوفيليت، حيث ينتهي



شكل ٥-٣٥: مخطط إفتراضي يظهر الأصناف المتكونة إثر تبادل أيوني الحديد والماغنسيوم للتركيب $Fe_3^{+2}Si_4O_{10}(OH)_2 - Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (بويد ١٩٥٩ Boyd).

بانخفاض درجات الحرارة إلى تكون التلك، بينما مع زيادة درجة الحرارة فإنه يتحلل إلى كلينوبيروكسين وكوارتز وبخار. قد يتواجد الصوديوم والألمنيوم بالتركيب الكيميائي للأنثوفيليت (جدول ٥-٥). لو إزداد المحتوى الألمنيومي بالدرجة الكافية، فإن هذا النوع من الأمفيبول يسمى جديريت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يُظهر الأنثوفيليت درجات مختلفة من الألوان مثل البني والبني المصفر والبني المخضر أو الرمادي البني، كما يظهر أيضاً اللون الأصفر أو الرمادي (شكل ٥-٣٦). البريق عادةً زجاجي إلى حريري بالأشكال الليفية. المخدش بني. تتراوح الصلادة بين ٥,٥ و ٦. الإنقسام جيد في إتجاهين بينهما زوايا 56° و 124° ومكوناً أشكال وتدنية. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,٩ و ٣,٤.



شكل ٥-٣٦: بلورات شعاعية بنية اللون من الأنثوفيليت.

<http://ocw.mit.edu/ans7870/12/12.108/f04/imagegallery/lab3/lab3-11.html>

يبدو الأنثوفيليت عديم اللون بالقطاعات الرقيقة وقد يظهر أيضاً باللون البني الفاتح أو الأخضر مع تغير لوني ضعيف. كما يظهر ألوان تداخل تصل إلى الرتبة الثانية. يصعب التمييز بينه وبين الجديريت تحت الميكروسكوب، ولكن يمكن تمييز الأنثوفيليت عن الأنواع الأخرى من الأمفيبول أحادي الميل بالإنطفاء المتوازي Parallel extinction. الأنثوفيليت ثنائي المحور (موجب

أو سالب)، معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1.60$ وبيتا $(\beta) = 1.62$ وجاما $(\gamma) = 1.63$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.03$ والزاوية البصرية $(2V) = 65^\circ - 133^\circ$.

التواجدات والصحة المعدنية

يتكون الأنثوفيليت من جراء تحول منخفض الدرجة لصخور نارية أو رسوبية غنية بالماغنسيوم حيث يكون مصاحباً لمعادن الأمفيبول الأخرى والتلك والفلوجوبيت والبيروب والكورديريت. كما يمكن أن يتكون الأنثوفيليت من جراء تفاعلات تراجعية لمعادن متحولة أخرى أو من عمليات تحوال Metasomatism لمعادن مثل الأوليفين بالصخور فوق المافية عند تعرضه للضغط في وجود وفرة من الماء. يتواجد المعدن في أماكن كثيرة من العالم منها: مونتانا وأريزونا وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وأونتاريو بكندا وفي النرويج وإيطاليا ومنطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية ووادي حيمور بمصر.

الاستخدامات

يستخدم النوع الليفى من الأنثوفيليت كشكل من أشكال الأسبستوس والذي ينصح بتداوله بحرص لما له من آثار جانبية على صحة الإنسان.

كمينجتونيت Cummingtonite

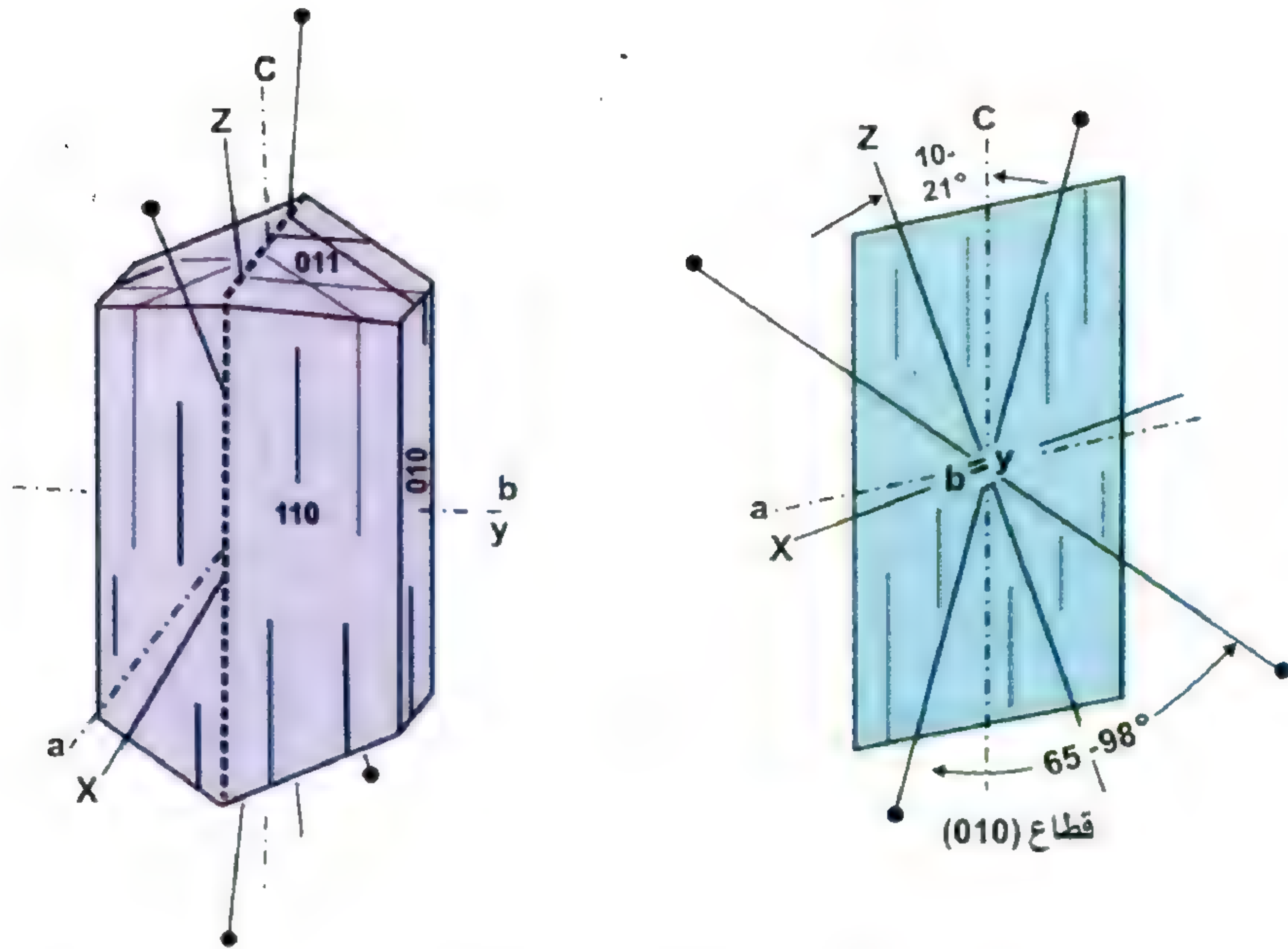


أُشتق اسم المعدن من مكان تواجده بمنطقة كمينجتون، ماساشوسيتس، الولايات المتحدة الأمريكية Cummington, Massachusetts, USA.

الصفات البلورية

يتبلور الكمينجتونيت في فصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ=9.51، ب=18.19، ج=5.33 أنجستروم (شكل 5-37)

ومجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات $Z=2$. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. يشبه الكمينجتونيت معدن الأنثوفيليت في الهيئة البلورية حيث يتواجد على شكل منشوري أو ليفي أو شعاعي.



شكل ٣٧-٥: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الإنكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الكمينجتونيت.

كيميائية المعدن

تحمل كلمة كمينجتونيت اسم معدن وأيضاً اسم سلسلة من المعادن. تشتمل هذه السلسلة على الجرونيريت والكمينجتونيت الماغنسيومي ويتوسطهما الكمينجتونيت. يحمل الثلاث معادن نفس الصيغة الكيميائية $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ويكمن الاختلاف بينهما في نسبة الحديد إلى الماغنسيوم. يعتبر الجرونيريت المعدن الغني بالحديد في هذه السلسلة، حيث تتراوح نسبة الماغنسيوم إلى مجموع كل من الماغنسيوم والحديد $[Mg/(Mg+Fe)]$ بين صفر و ٠,٢٩، وكما هو واضح من اسم الكمينجتونيت الماغنسيومي، فإنه الحالة الأكثر غنى في الماغنسيوم حيث تتراوح نسبة

المحتوى الماغنيسيومي $[Mg/(Mg+Fe)]$ من ٠,٧ إلى ١,٠. ويتوسط الكمينجتونيت بحكم موقعه في هذه السلسلة تلك النسبة حيث تتراوح ما بين ٠,٣ و ٠,٦٩. ويعتبر الكمينجتونيت أكثر معادن هذه السلسلة إنتشاراً. كما تتشابه الصيغة الكيميائية للكمينجتونيت مع معدن الأنثوفيلليت كما أشرنا إلى ذلك في الجزء الخاص بالأنثوفيلليت. يمكن أن يحدث نوع من الإحلال البسيط للمنجنيز محل الماغنسيوم والحديد ويتكون بذلك الكمينجتونيت الغنى بالمنجنيز ويحدث ذلك غالباً تحت ظروف تحول عالية الدرجة. كما يمكن أن يتواجد أيضاً الكالسيوم بنسبة بسيطة.

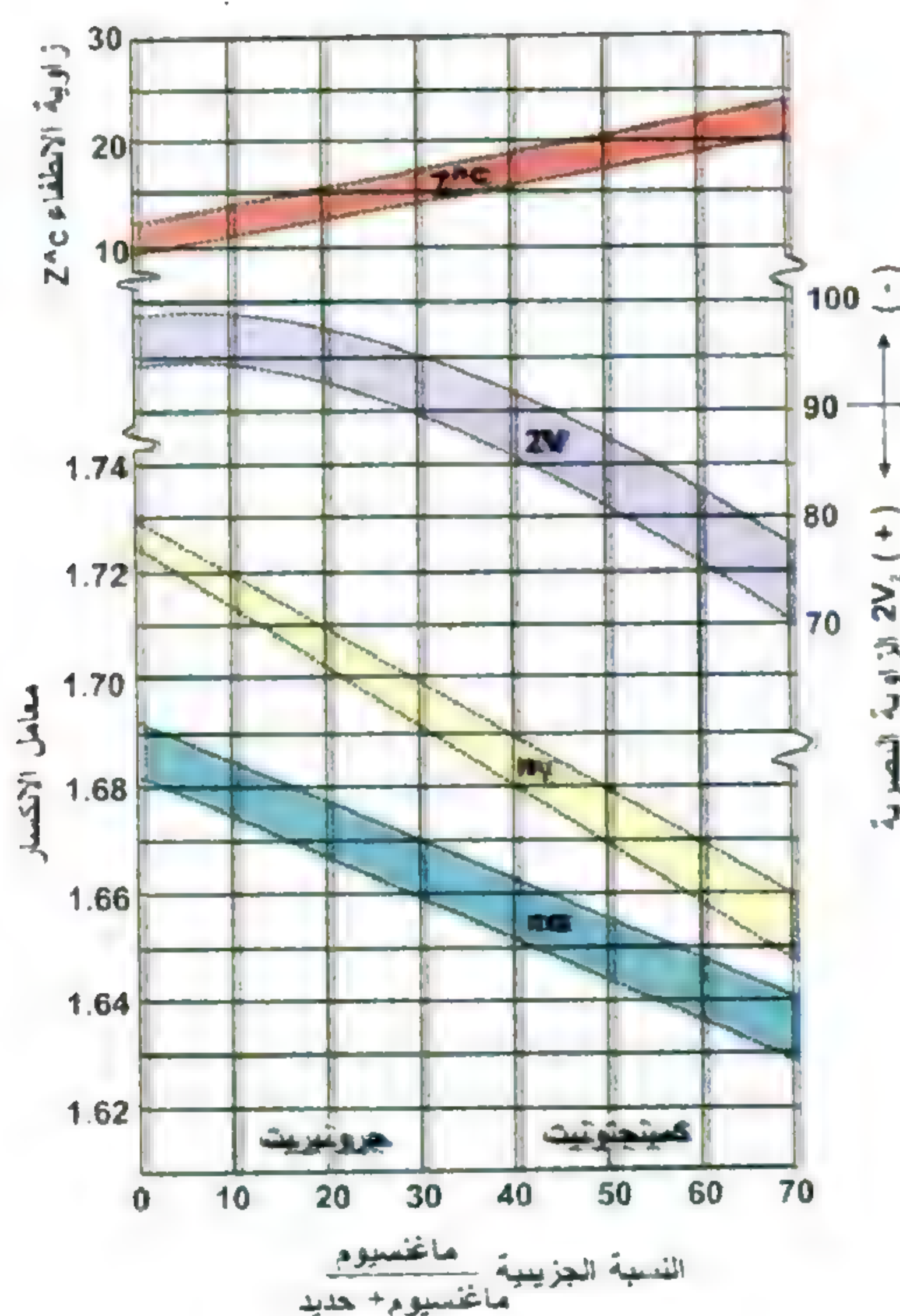
الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير لون المعدن من رمادى غامق، بنى مخضر إلى أخضر غامق. البريق حريرى إلى زجاجى. المخدش أبيض. المعدن نصف شفاف. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. الإنقسام جيد فى إتجاهين عند زوايا مقدارها ٥٦ و ١٢٤ درجة. يتراوح الوزن النوعي بين ٣,١ و ٣,٦. تتراوح التضاريس تحت الميكروسكوب بين متوسطة إلى عالية موجبة. تقل معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية، بينما تزداد قيمة زاوية الإنطفاء، مع زيادة المحتوى الماغنيسيومى (شكل ٥-٣٨). ويفسر هذا الاختلاف بين الجرونيريت والكمينجتونيت حيث أن الأول سالب بصرياً والثانى موجب. الكمينجتونيت ثنائى المحور موجب، معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1,630 - 1,696$ وبيتا $(\beta) = 1,638 - 1,709$ وجاما $(\gamma) = 1,650 - 1,729$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,020 - 0,045$ والزاوية البصرية $(2V) = 65 - 98^\circ$.

التواجدات والصحبة المعدنية

يعتبر الكمينجتونيت من المعادن الشائعة بصخور التحول الأقليمى. ومع زيادة درجة التحول فإنه يحدث انحلال للمعدن ليعطى بيروكسين أو أوليفين (انظر شكل ٥-٣٥). كما يتواجد المعدن فى تكوينات الحديد المتحولة وفى بعض الصخور مثل الجابرو والنوريت ونادراً ما يوجد بالصخور البركانية

الحامضية. يصاحب الكمينجتونيت معادن الأمفيبول الأخرى مثل الهورنبلند والأنثوفيليت والأكتينوليت والتريمواليت ومعادن أخرى مثل الجارنت والكوارتز والجلوكوفان. ومن أشهر أماكن تواجده منطقة كمينجتون Cumington ومقاطعة هامبشير Hampshire County وولاية جنوب داكوتا South Dakota بالولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد أيضاً بإسكتلندا وجنوب أفريقيا والسويد وبصخور النيس المتحولة بمنطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية.



شكل ٥-٣٨: تغير معاملات الانكسار وزاوية الانطفاء والزاوية البصرية بتغير المحتوى الماغنيسيومي بسلسلة الكمينجتونيت-الجرونيريت (فينشيل ١٩٣٨ Winchell، دير وآخرون ١٩٦٣ Deer et al.، كلاين ١٩٦٤ Klein).

الاستخدامات

يمكن أن يستخدم أحد أنواع الكمينجتونيت ويسمى أموسيت/مونتاسيت Amosite/Montasite كبديل للأسبستوس والذي يستخدم في كثير من الصناعات رغم مخاطره الصحية.

التريموليت Tremolite



يرجع اسم المعدن إلى منطقة فال تريمولا Val Trimola بسويسرا حيث تم إكتشافه لأول مره.

الصفات البلورية



يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ=٩,٨٦، ب=١٨,١١، ج=٥,٣٤ أنجستروم ومجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)=٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C2/m. يتخذ المعدن الشكل المنشوري، كما يتواجد على هيئة ليفية أو شعاعية أو عمدانية.

كيمائية المعدن

ينتمي التريموليت إلى سلسلة من المعادن تضم كل من الأكتينوليت والأكتينوليت الحديدي. يعتمد ذلك على نسبة تواجد الحديد إلى الماغنسيوم، فعندما يسود الحديد، يتكون معدن الأكتينوليت الحديدي، وعندما يسود الماغنسيوم يتكون التريموليت ويتوسط الأكتينوليت المعدنين السابقين. يعتبر التريموليت أكثر معادن هذه السلسلة شيوعاً، يليه معدن الأكتينوليت. يتم تمثيل السلسلة ككل بالصيغة الكيميائية $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$.

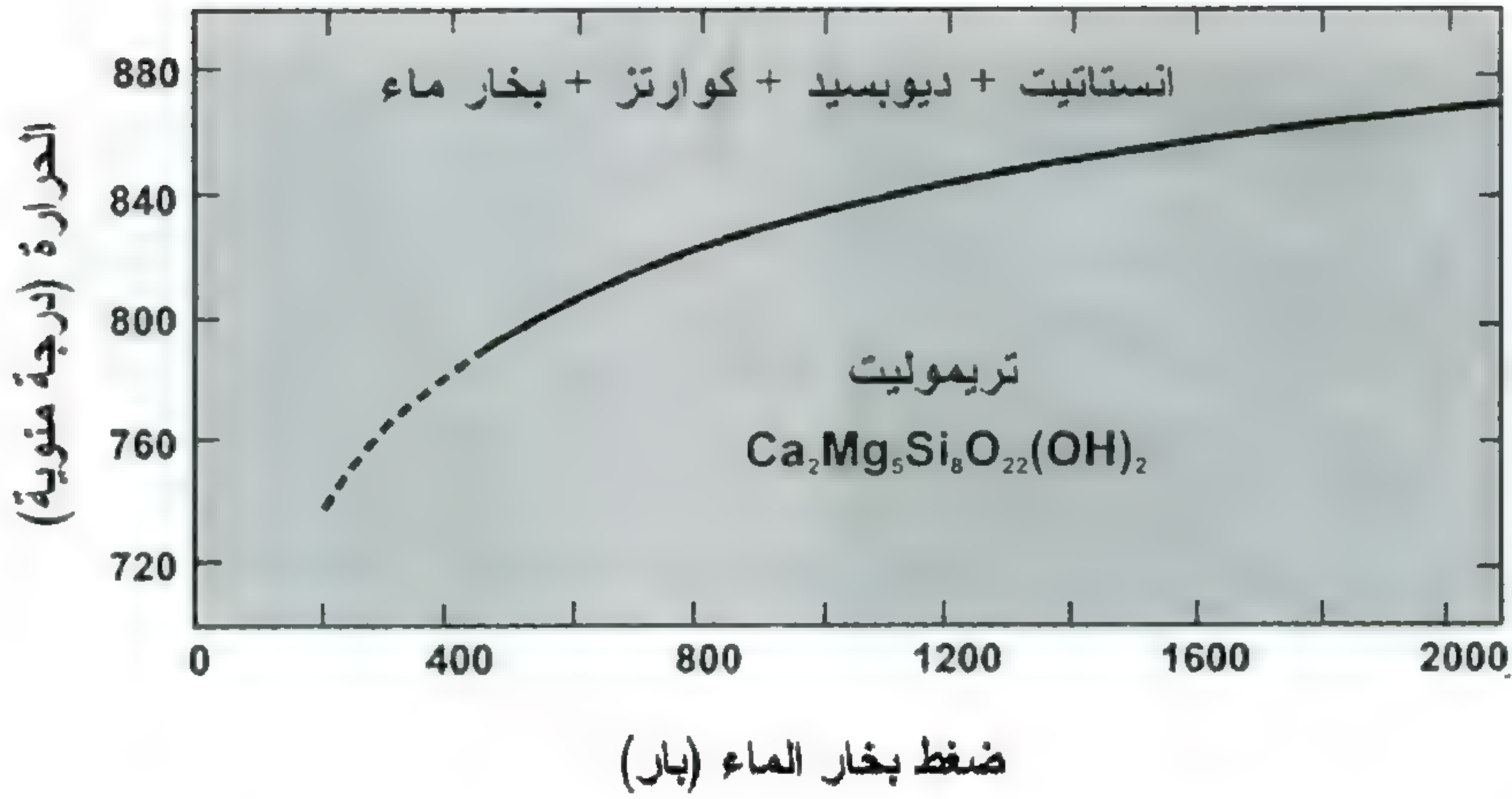
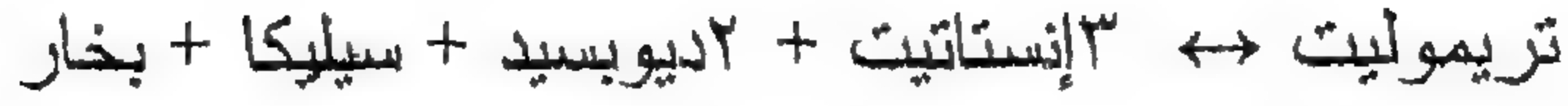
يعتبر التريموليت من المعادن المتحولة حيث يتواجد بكثرة بالصخور الجيرية الدولوميتية المتحولة، وينتج من التفاعل التالي:



كالسيت تريموليت كوارتز دولوميت

يعتبر معدن التريموليت مستقراً عند مدى حرارى يتراوح ما بين ٤٠٠-٩٠٠ درجة مئوية عند ضغط بخار ماء يتراوح بين ٤٠٠-٢٠٠٠ بار (شكل

٣٩-٥). يحدث للتريموليت نوع من الإنحلال مع رفع درجة الحرارة ليعطي إنستاتيت وديوبسيد وكوارتز وماء حسب المعادلة:

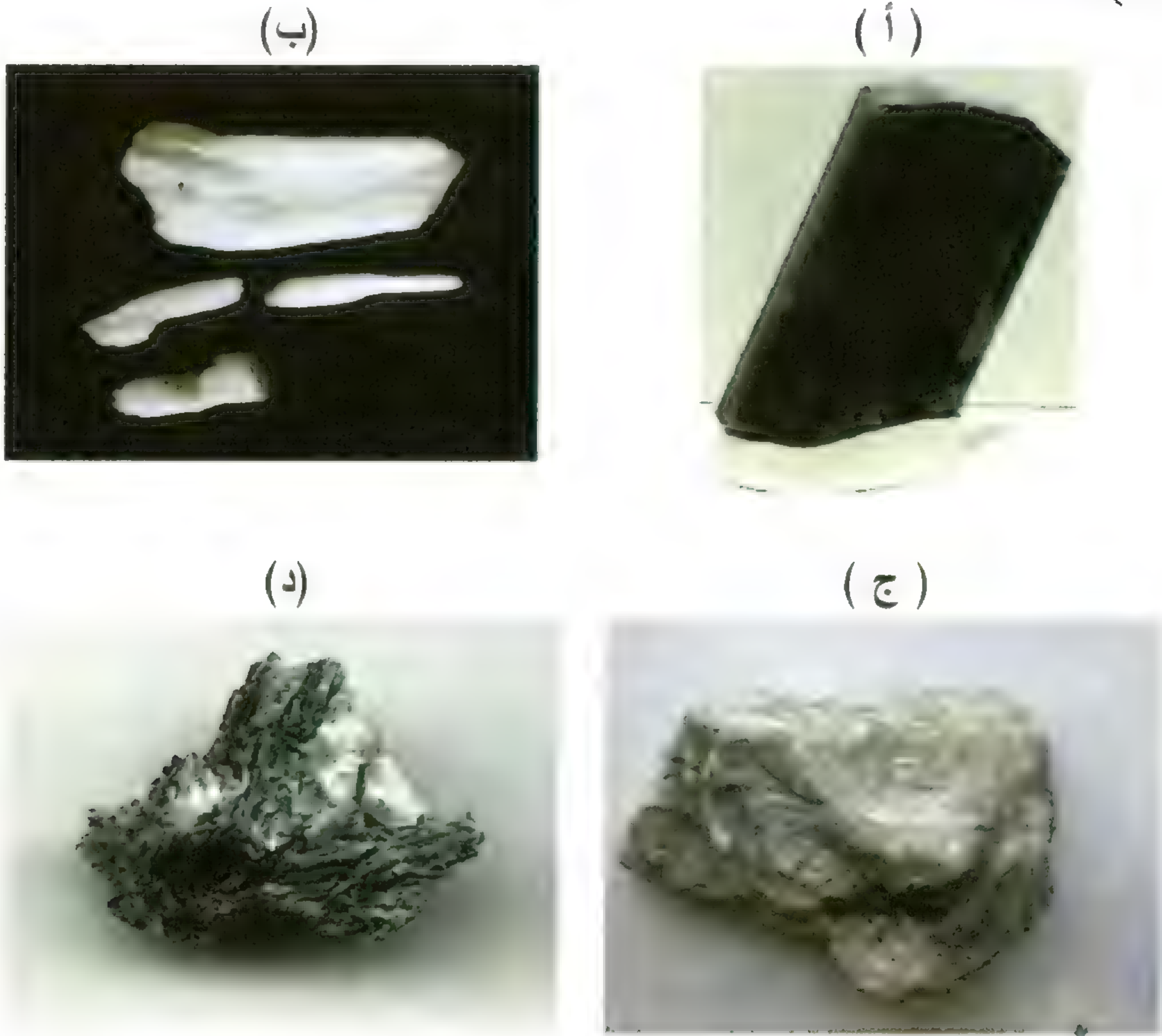


شكل ٣٩-٥: منحنى الإتزان للتفاعل تريموليت \leftrightarrow إنستاتيت + ديوبسيد + سيلكا + بخار ماء. (بويد ١٩٥٤ Boyd).

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير لون المعدن من أبيض إلى رمادي أو أخضر حسب نسبة الحديد (شكل ٤٠-٥). يكون لون المعدن أبيض تماماً بالأنواع النقية والتي ليس بها أى نسبة من الحديد ولكن مع دخول الحديد بالبنية البلورية، فإنه يعطى ألوان تميل إلى اللون الأخضر والوردي. البريق حريري أو زجاجي إلى قائم. المخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. الإنقسام منشوري كامل {110} بزوايا قدرها ٥٦° و ١٢٤°. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,٩ و ٣,١. تحت الضوء المستقطب، يكون المعدن عديم اللون إلى أخضر شاحب. يُظهر التريموليت زاوية إنطفاء تتراوح بين ١٠° إلى ٢١°. كما يتميز التريموليت بألوان تداخل تصل إلى الرتبة الثانية. تزداد معاملات الانكسار من التريموليت إلى الأكتينوليت والأكتينوليت الحديدي مع زيادة المحتوى الحديدي (شكل ٤١-٥) بينما تقل قيمة الزاوية البصرية $2V$

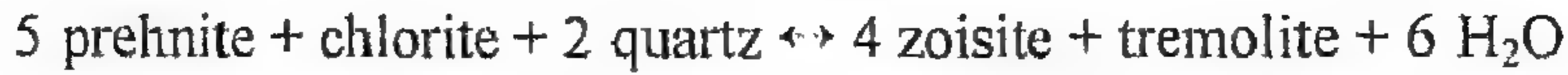
وزاوية الإنطفاء بدرجة طفيفة مع زيادة هذا المحتوى. التريموليت ثنائى المحور سالب، معاملات الانكسار ألفا $= 1.608$ وبيتا $= 1.618$ وجاما $= 1.630$ وقرينة الانكسار المزدوج $= 0.022$ والزاوية البصرية $(2V) = 85^\circ$.



شكل ٥-٤٠: (أ) هيئة منشورية للتريموليت (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/.../asbestos.html). (ب) تريموليت أبيض اللون (ج) هيئة شعاعية للتريموليت (د) تريموليت غني بالكروميوم مع كالسيت (أبيض اللون).

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد التريموليت كمعدن متحول بالصخور ذات التحول الإقليمي والتلامسي. ففي حالة التحول الإقليمي للصخور المافية، ينتج التريموليت من انحلال البيرهنيت في الضغوط المنخفضة (أقل من ٣ كيلو بار) وإنحلال اليمبيليت عند ضغط أعلى (أكثر من ٣ كيلو بار) حسب التفاعلات الآتية :

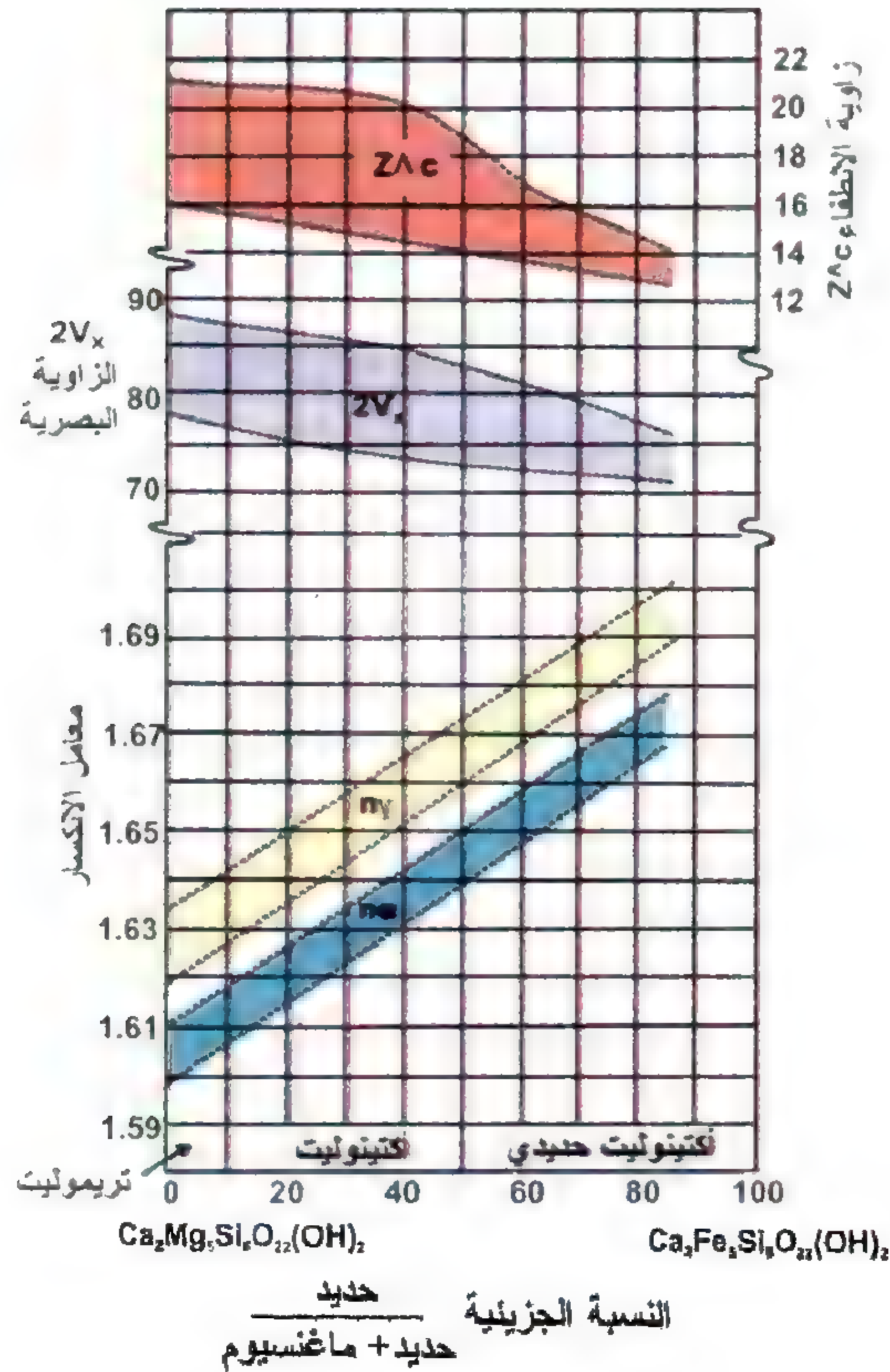


تريموليت زوسيت كوارتز كلوريت بيرهنيت



زوسيت تريموليت كوارتز كلوريت بمبيليت

وفي حالة التحول التلامسي لصخور الحجر الجيري الدولوميتي السيليكاتي، يتكون التريموليت عند حوالي ٥٠٠ درجة مئوية على حساب كل من الكوارتز والكالسيت والتلك. من المعادن المصاحبة: كالسيت وجروسيلار وتلك وسربنتين. يتواجد المعدن بأماكن عديدة من العالم: منطقة ويلبرفورز Wilberforz وأونتاريو بكندا، وفي أماكن عديدة بالولايات المتحدة الأمريكية وفي سويسرا حيث تم إكتشافه بمنطقة وادي تريمولا Tremola Valley وفي تنزانيا وفنلندا. كما يتواجد المعدن بالصخور المتحولة بمنطقة خميس مشيط بالمملكة العربية السعودية ومنطقة وادي حيمور بالصحراء الشرقية، مصر.



شكل ٥-٤١: تغير معاملات الانكسار وزاوية الإنطفاء والزاوية البصرية بتغير

المحتوى الماغنيسيومي بسلسلة التريموليت-الأكتينوليت الحديدي (فيلشيل ١٩٤٥)

Winchell، دير وآخرون ١٩٦٣ (Deer et al.).

الاستخدامات

يستخدم النوع الليفي من التريموليت في صناعة الأسبستوس، شأنه كشأن أنواع الأسبستوس الأخرى من ناحية المخاطر الصحية ولا يجب إقتراب عيناته للغم والأنف حيث هناك إمكانية للإصابة بسرطان الرئة. لذلك فإنه ينصح التداول مع مثل هذه العينات بحرص وغسل اليد جيداً بعد تداولها. كما يستخدم التريموليت كعازل حراري في الأجهزة الحرارية وذلك لعدم تأثره بالحريق وأنه موصل ضعيف للحرارة. ولكن لم يعد يستخدم في هذه التطبيقات بعد إكتشاف مخاطره الصحية على الإنسان.

الأكتينوليت Actinolite



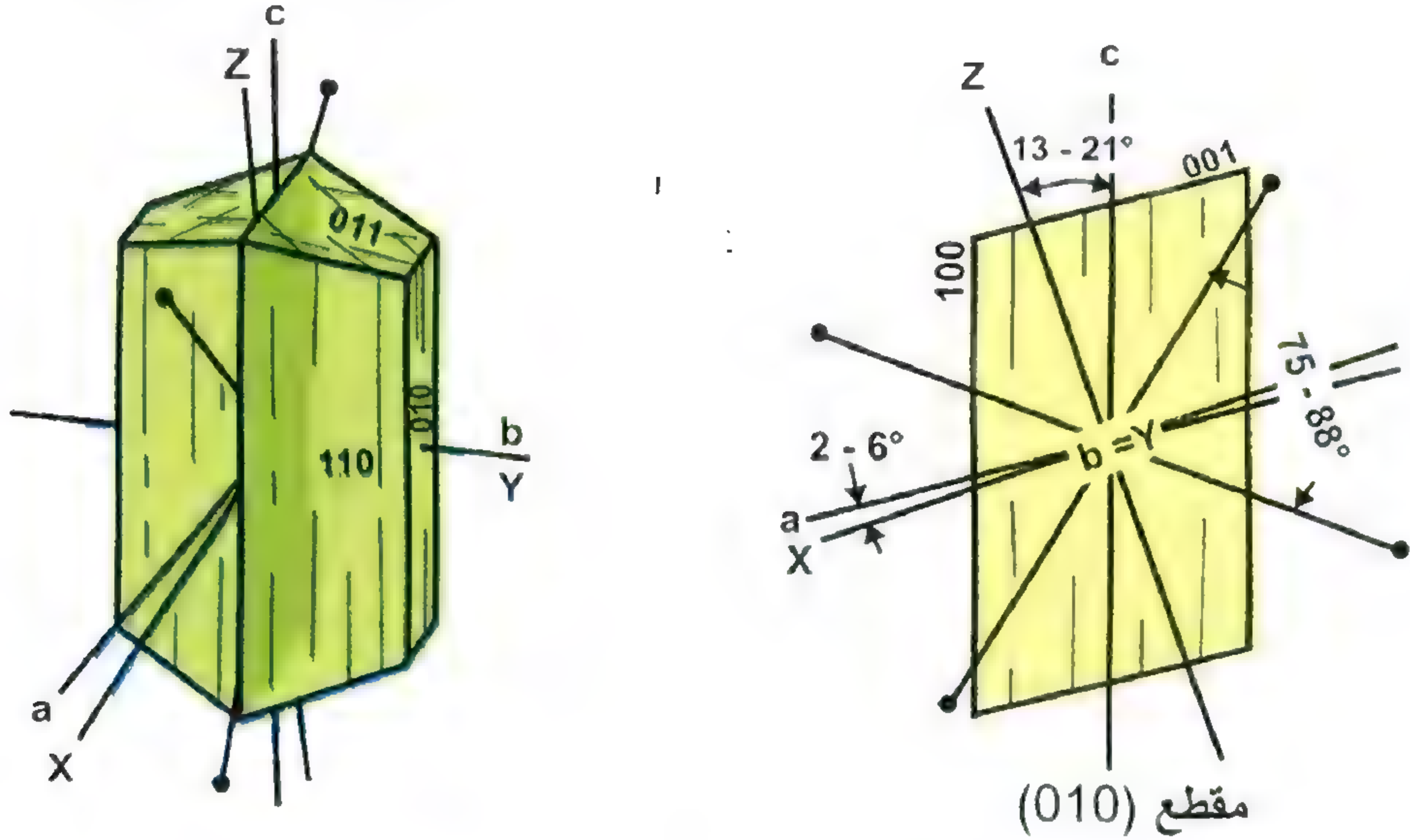
يأتى اسم الأكتينوليت من الكلمة الإغريقية *actis* والتي تعنى شعاعي، نسبةً إلى الشكل الإبري الشعاعي الذي يتميز به الأكتينوليت. كما تم الإشارة في الفقرات السابقة عند الحديث عن التريموليت، فإن الأكتينوليت يمثل العضو الأوسط بين معدني التريموليت والأكتينوليت الحديدي.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد، وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a=9,84$ ، $b=18,05$ ، $c=5,27$ أنجستروم (شكل ٥-٤٢). مجموع الذرات بخلية الوحدة $(Z)=2$ ، مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. يتميز الأكتينوليت بالشكل الإبري، كما يوجد على شكل كتلى أو عمداني.

كيميائية المعدن

يمثل الأكتينوليت تركيب كيميائي يتوسط كل من التريموليت Ca_2Mg_5 و $\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ والأكتينوليت الحديدي $\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. يتواجد كل من المنجنيز والألومنيوم والكروميوم والفلورين بنسب بسيطة.



شكل ٥-٤: العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورة لمعدن الأكتينوليت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

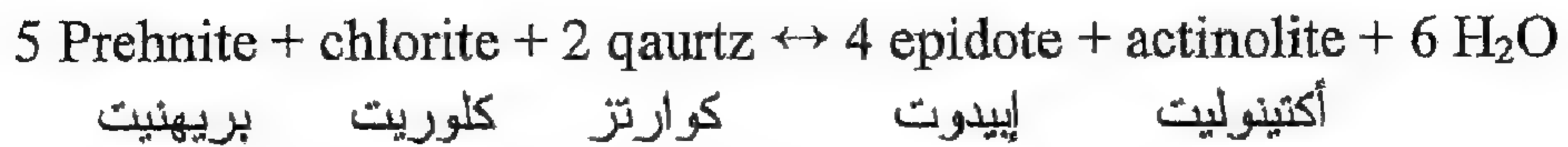
يعتمد لون الأكتينوليت بدرجة كبيرة على نسبة الحديد ببنيّة البلورية حيث يُظهر المعدن درجات متفاوتة من اللون الأخضر (شكل ٥-٤٣). أحياناً يحدث نوع من الخلط في العينات اليدوية بين الأكتينوليت والإبيدوت وذلك لتشابه لونهما. البريق زجاجي والمخدش أبيض. المعدن شفاف إلى نصف شفاف. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦ والوزن النوعي بين ٢,٩ و ٣,٣. تشابه الصفات البصرية للأكتينوليت مع التريمووليت، ولكن يتميز الأكتينوليت بشدة أكثر في اللون والتغير اللوني. المعدن ثنائي المحور سالب، حيث ألفا $(\alpha) = 1,66 - 1,67$ وبيتا $(\beta) = 1,62 - 1,68$ وجاما $(\gamma) = 1,63 - 1,69$ قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,03$ والزاوية البصرية $(2V) = 75 - 88^\circ$. تزداد معاملات الانكسار مع زيادة نسبة المحتوى الحديدي (انظر شكل ٥-٤١).



شكل ٥-٤٣: (أ) بلورات منشورية للأكتينوليت
بصحب الكوارتز
(www.brhounds.com/name/A.html).
(ب) هيئة إبرية شعاعية للأكتينوليت (www.a-
(m.de/.../aktinolite-bild1.htm). (ج) هيئة
ليفية لأكتينوليت أخضر فاتح.

التواجدات والصحية المعدنية

يتواجد الأكتينوليت بالصخور المافية المتحولة ويمثل أحد المعادن التي
تعكس اللون الأخضر لسحنة الشيست الأخضر. يتكون الأكتينوليت من تفاعل
البريهنيت والكلوريت والكوارتز عند 280 ± 30 درجة مئوية وضغط ٢ -
٣ كيلو بار حسب التفاعل:



من المعادن المصاحبة: ألبيت وإبيدوت وكلوريت وكوارتز. يتواجد المعدن
في بلدان عديدة، منها: روسيا والصين ونيوزلندا وكولومبيا وكندا وتايوان
والمملكة العربية السعودية ومصر.

الاستخدامات

تتشابه استخدامات الأكتينوليت مع استخدامات التريموليت.

جلوكوفان Glaucophane



يأتى اسم المعدن من كلمات إغريقية تعنى "مظهر أزرق اللون"، ويرجع ذلك إلى اللون الأزرق للجلوكوفان. يتشابه المعدن مع الريبكيت فى هذا اللون.

الصفات البلورية



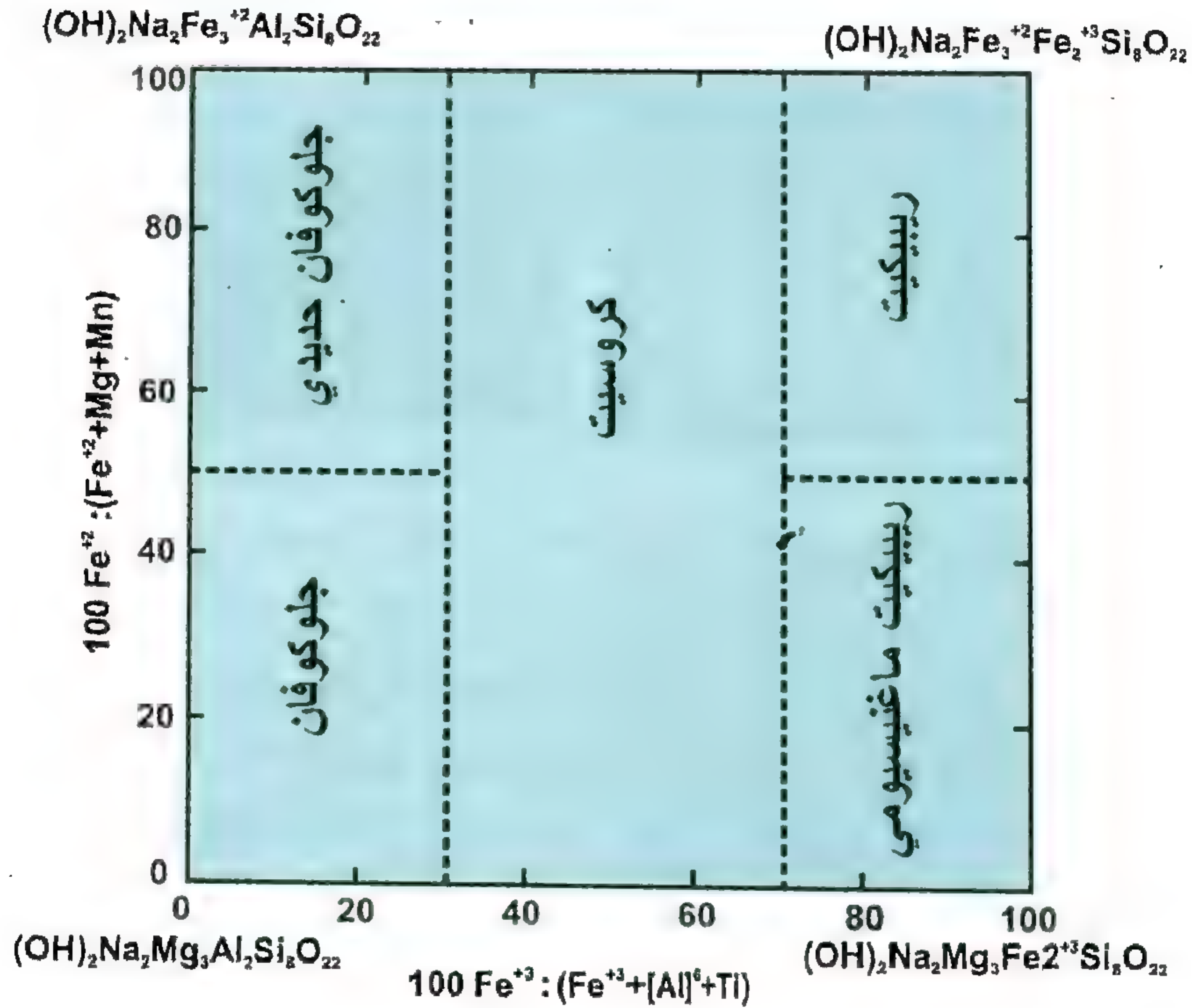
يتبلور المعدن بفصيلة الميل الواحد، حيث تبلغ أبعاد خلية الوحدة كالتالى: أ= ٩,٧٨، ب= ١٧,٨٠، ج= ٥,٣٠ أنجستروم. مجموع الذرات بخلية الوحدة (Z)= ٢، مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C2/m. يتخذ المعدن عدة أشكال منها الإبرى والمنشورى غير المكتمل والليفى والحُببى والكتلى.

كيمائية المعدن

يكون الجلوكوفان سلسلة من محلول صلب مع معدن الجلوكوفان الحديدى Ferro glaucophane. يعتبر الجلوكوفان هو المعدن الغنى بالماغنسيوم فى هذه السلسلة، بينما يمثل الجلوكوفان الحديدى المعدن الغنى بالحديد. يتشابه المعدنان فى العديد من الصفات، ولكن الجلوكوفان الحديدى يعد أكثر كثافة من الجلوكوفان وذلك لإحتوائه على نسبة عالية من الحديد والتي تزيد أيضاً من درجة غمقان لونه.

رغم أن الجلوكوفان يمثل المعدن الغنى بالماغنسيوم، إلا أنه يحتوى أيضاً على نسبة من الحديد الثنائى الذى يحل محل الماغنسيوم، ونسبة من الحديد الثلاثى الذى يحل محل الألومنيوم. عندما يحل الحديد الثنائى والثلاثى محل

معظم الماغنسيوم والألومنيوم يسمى المعدن في هذه الحالة ريبيكيت. ويسمى المعدن الذي يتوسط التركيب الكيميائي للجلوكوفان والريبيكيت باسم كروسيت Crossite (شكل ٥-٤٤).



شكل ٥-٤٤: تصنيف أنواع الأمفيبول (جلوكوفان-كروسيت-ريبيكيت) بناءً على نسبة الحديد الثلاثي (100 Fe^{3+}) إلى مجموع الحديد والألومنيوم والتيتانيوم ($\text{Fe}^{3+} + [\text{Al}]^6 + \text{Ti}$). (دير وآخرون ١٩٨٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتميز المعدن باللون الأزرق، ولكن مع زيادة نسبة الحديد قد يتغير لونه إلى الرمادي الداكن (شكل ٥-٤٥). البريق زجاجي إلى لؤلؤي. المخدش رمادي شاحب إلى أزرق. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. يُظهر المعدن الإنقسام المميز للأمفيبول وغالباً ما يكون منشورات أو إبر ذات مقاطع مشابهة لمقاطع الألماس Diamond-shaped. يتراوح الوزن النوعي بين ٣ و ٣.٢. تحت الميكروسكوب، يتميز الجلوكوفان باللون الأزرق إلى عديم اللون

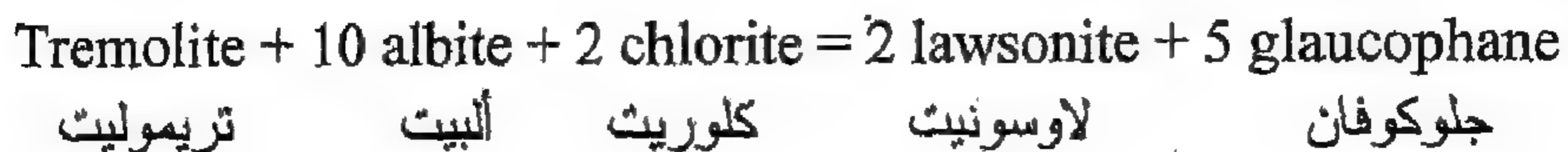
وأحياناً بنفسجي وغالباً ما يظهر تعدد لوني. تصل ألوان التداخل إلى الجزء المنخفض من الرتبة الثانية. الجلوكوفان ثنائى المحور سالب، ألفا $(\alpha) = 1.67$ وبيتا $(\beta) = 1.65$ وجاما $(\gamma) = 1.65$ ، قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = -0.01$ و 0.02 والزاوية البصرية $(2V) = \text{صفر} - 50^\circ$. كما تظهر معاملات الانكسار تغيراً مع تغير التركيب الكيميائي (شكل ٥-٤٦)

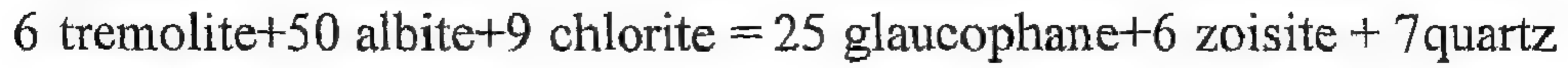


شكل ٥-٤٦: جلوكوفان رمادي غامق مع صحبة من الكلوريت والأباتيت من منطقة فاللي فورد بكاليفورنيا (متحف سميثونيان للتاريخ الطبيعي Smithsonian Museum of Natural History).

التواجدات والصحبة المعدنية

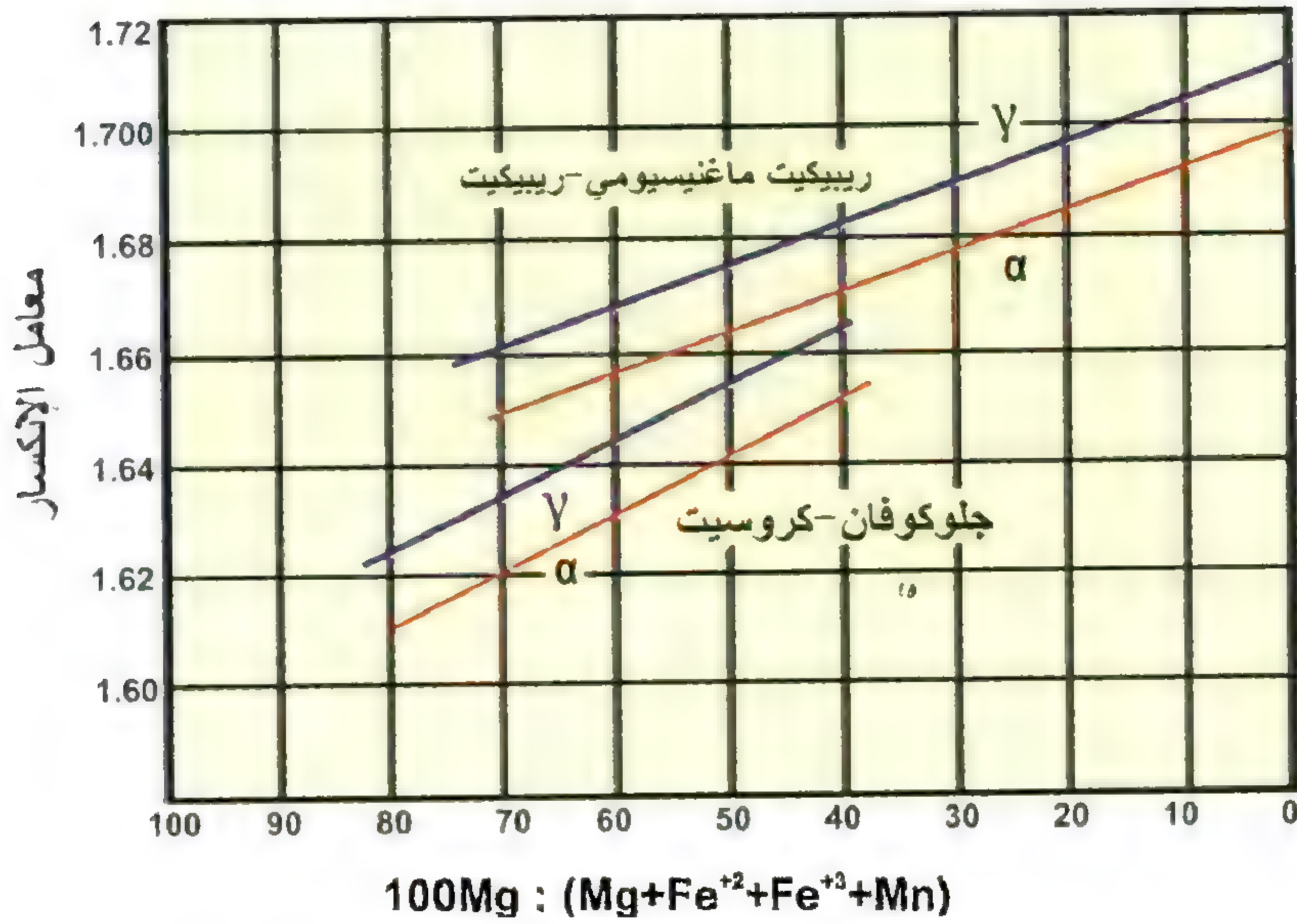
يتكون الجلوكوفان تحت ظروف تحول عالية الدرجة (سحنة الشيست الأزرق) بمناطق الإندساس حيث الضغط العالى والحرارة المتوسطة. سميت سحنة الشيست الأزرق بهذا الاسم نسبة إلى لون الجلوكوفان الأزرق والذي يعتبر من أكثر المعادن الدالة على هذه السحنة. كما يوجد أيضاً الجلوكوفان بسحنة الإكلوجيت والذي تعرض لعمليات تحول تراجعية. ينتج الجلوكوفان من انحلال التريموليت والألبيت والكلوريت كما هو واضح من التفاعلات التالية :





كوارتز زوسيت جلوکوفان كلوريت ألبيت تريموليت

ومن المعادن المصاحبة: جاديت ولاوسونيت وأراجونيت وكلوريت وأومفاسيت وكمينجتونيت وكوارتز. يتواجد المعدن في العديد من أحزمة الجبال: جزيرة سيرا Syra Island، جزر سيكليدز Cyclades باليونان، والعديد من الأماكن بالولايات المتحدة الأمريكية مثل مرتفعات كاليفورنيا الساحلية Coast Ranges، وجزر كودياك Kodiak Islands وألاسكا، كما يوجد المعدن بإيطاليا والمملكة المتحدة وأستراليا واليابان.



شكل ٥-٦: العلاقة بين التركيب الكيميائي ومعاملات الانكسار بسلسلة الجلوكوفان-كروسييت-ريبيكيت ماغنيسيومي-ريبيكيت (دير وآخرون ١٩٨٩).

الهورنبلند Hornblende



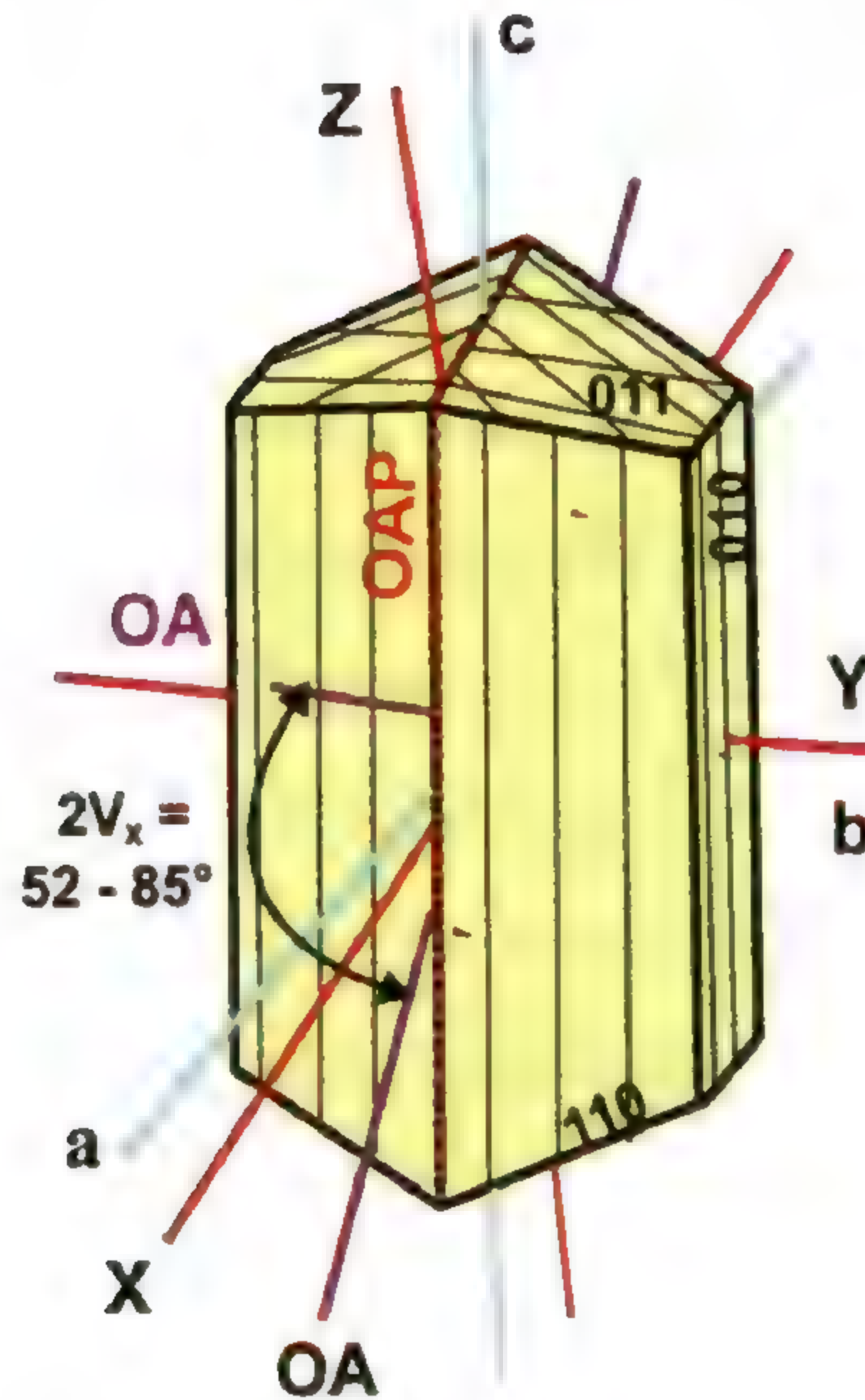
يأتي هذا الاسم من كلمتين ألمانييتين، الأولى "horn" والتي تعني "القرن" نسبة إلى لون قرن الماشية والأخرى "blenden" والتي تعني "يخدع أو يغش" ويرجع ذلك إلى تشابهه مع بعض الخامات الإقتصادية ولكنه في الحقيقة ليس

له أهمية إقتصادية. يعتبر الهورنبلند من أكثر معادن مجموعة الأمفيبول شيوعاً، غالباً ما يكون أسود اللون ولكن أحياناً يتخذ اللون الأخضر الغامق أو البني. يعتبر من المعادن الشائعة بالصخور النارية والمتحولة مثل الشيست والنيس. كما يعتبر الهورنبلند من أكثر المعادن تغيراً في الصيغة الكيميائية والتي أحياناً تكتب بأكثر من طريقة ويرجع ذلك إلى عملية الإحلال المستمر لبعض الكاتيونات بمواقع بنيته البلورية. لقد أعطى هذا نوع من التميز للهورنبلند لدى العاملين بعلم المعادن والذين يهتمون بدراسته لما له من حساسية اتجاه تأثيرات الحرارة والضغط مما جعله من أهم المعادن في تطبيقات مقاييس الحرارة والضغط Geothermobarometry.

في الحقيقة، إن اسم الهورنبلند لا يعنى معدن واحد فقط، بل يعنى سلسلة من المعادن التي يصعب التمييز بينها، ويرجع ذلك إلى حرية عمليات الإحلال بين الكاتيونات وبعضها (مثل الحديد والماغنسيوم والألومنيوم). تضم هذه السلسلة كل من الهورنبلند الماغنيسيومي Magnesio-hornblende والهورنبلند الحديدي Ferro-hornblende والهورنبلند الألومنيومي Alumino-Ferrohornblende والهورنبلند الماغنيسيومي الألومنيومي Alumino-magnesio-hornblende. يرجع اسم هذه المعادن بالدرجة الأولى إلى المحتوى الكيميائي مع صعوبة التمييز بينهما في الحقل، ولكن بشكل عام فإن المعادن الأكثر ثراءً بالحديد تكون أغمق في اللون ومعتمة.

الصفات البلورية

يتبلور الهورنبلند في فصيلة الميل الواحد، حيث $A=9,89$ ، $B=18,01$ ، $C=5,33$ أنجستروم (شكل ٥-٤٧)، مجموع الذرات بخلية الوحدة $(Z)=2$ ، مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. البلورات غالباً منشورية ولكن يوجد المعدن أيضاً في هيئة عمدانية وليفية وحبيبية وكتلية وأحياناً على شكل حبيبات إبرية. يكون القطاع العرضي للمنشورات ذو أربعة أو ستة جوانب حيث يظهر الإنقسام المميز للأمفيبول عند 56° و 124° .



شكل ٥-٤: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الهورنبلند، كما يظهر في الشكل إتجاه المحاورين البصريين OA والمستوى المحوري البصري (OAP).

كيمائية المعدن

يُظهر الهورنبلند تغيراً ملحوظاً في تركيبة الكيمياء مقارنةً بالأنواع الأخرى للأمفيبول مثل التريموليت والأكتينوليت. يحتوى الهورنبلند على نسبة لا بأس بها من كاتيونات الصوديوم والبوتاسيوم في الموقع A ، وحديد ثلاثي وألومنيوم بمواقع ثماني الأوجه $M1, M2, M3$ (انظر جدول ٥-٥). ولكي يحافظ الهورنبلند على إتران الشحنات أثناء عملية الإستبدال الأيوني، يحدث نوع من إستبدال الألومنيوم Al^{3+} محل السيليكون Si^{4+} لتعويض فرق الشحنات بمواقع رباعيات الأوجه. هذا ما يجعل الهورنبلند ممثلاً لعدة سلاسل من المعادن وليس معدناً واحداً، هذه السلاسل هي:

- هورنبلند ماغنسيومي - هورنبلند حديدي

Magnesiohornblende-Ferrohornblende



- تشيرماكيت - تشيرماكيت حديدي Tschermakite - Ferrotschermakite
 $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
- إدينيت - إدينيت حديدي Edenite - Ferroedenite
 $\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$
- بارجازيت - بارجازيت حديدي Pargasite - Ferropargasite
 $\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{Al Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})$
- هاستينجزيت ماغنسيومي - هاستينجزيت
 Magnesiohastingsite - Hastingsite
 $\text{NaCa}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_4\text{Fe}^{3+}\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

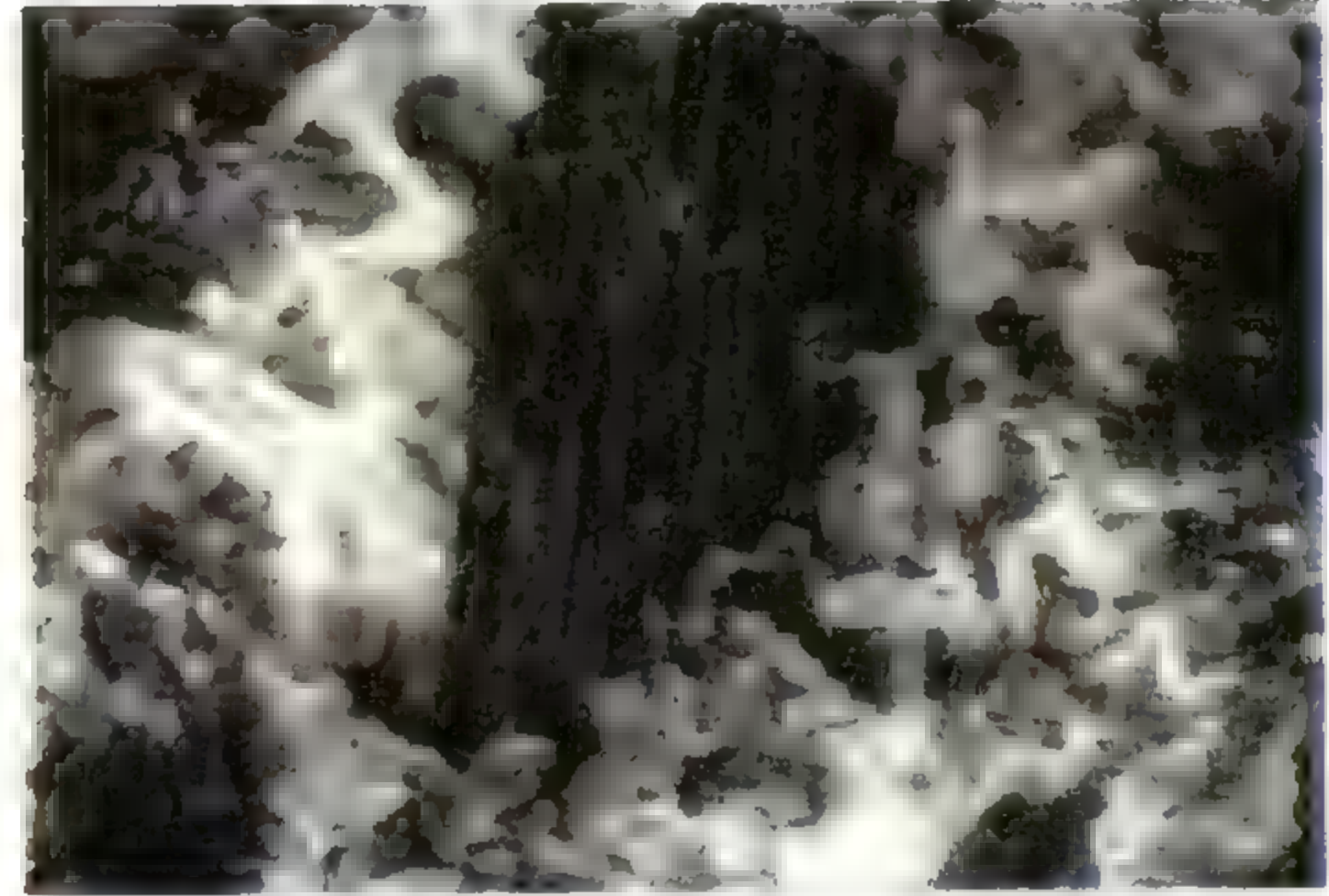
كما يحدث أيضاً إحلال لعناصر مثل التيتانيوم والمنجنيز والكروميوم بالمواقع M1, M2, M3، وأيضاً ممكن أن يحل الأكسجين والفلورين والكلورين محل مجموعة الهيدروكسيل (OH). يختلف الهورنبلند عن معادن الأمفيبول الأخرى في كونه يحتوى على ٨ كاتيونات بمواقع ثمانى الأوجه بدلاً من سبعة بالمعادن الأخرى.

الصفات الفيزيائية والبصرية

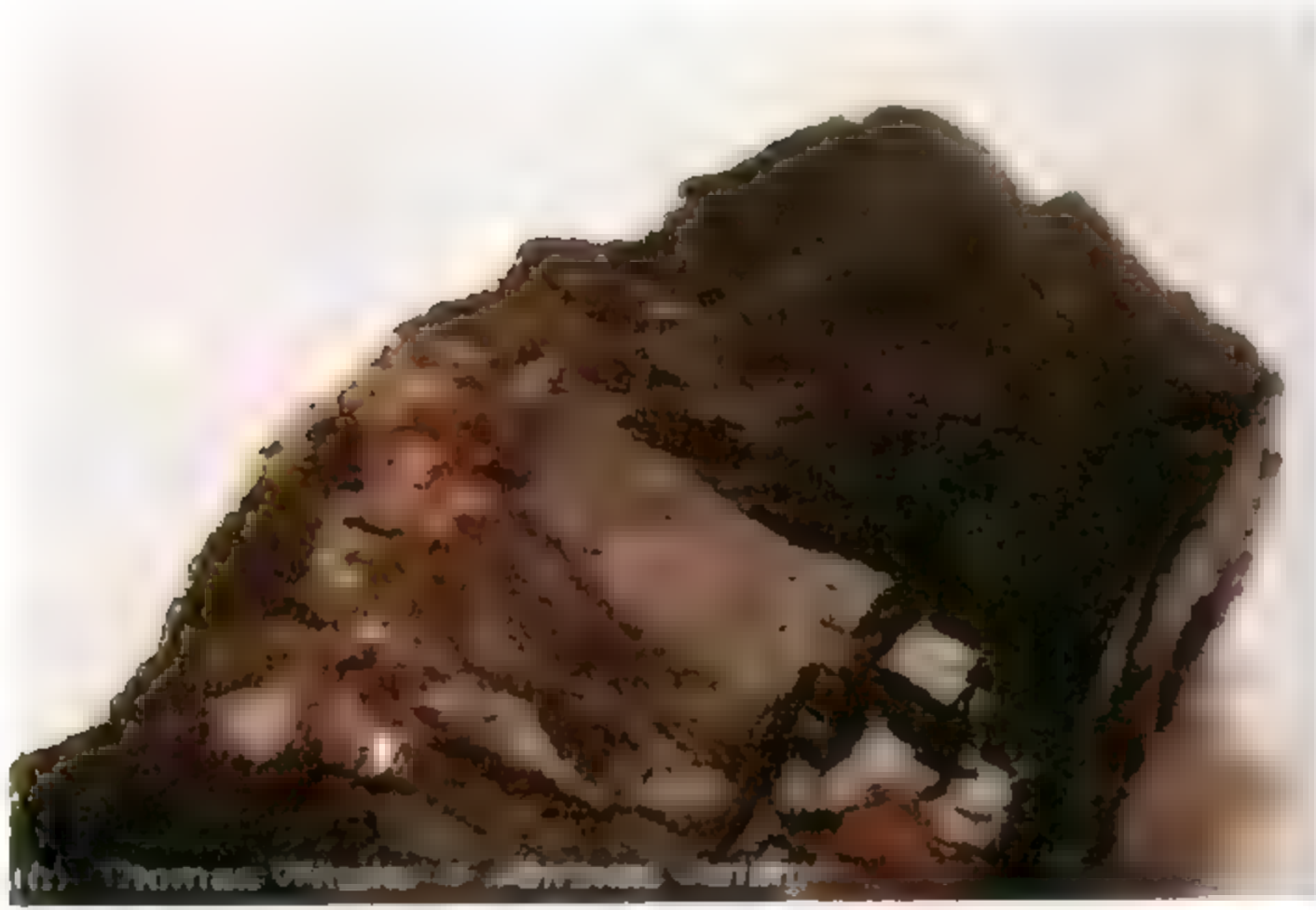
عادةً يكون المعدن أسود إلى أخضر غامق وأحياناً يظهر درجات مختلفة من الأخضر المصفر أو الأخضر المزرق أو البنى أو الرمادي (شكل ٥-٤٨). البريق زجاجى وفي الأنواع الليفية حريرى. المخدش بنى إلى رمادي. عادة تكون البلورات معتمة ولكن البلورات الرقيقة ممكن أن تكون نصف شفافة. تتراوح الصلادة بين ٥ و ٦. الإنقسام منشورى كامل موازى للمستوى {110}. والزاوية مقدارها ٥٦° و ١٢٤° (شكل ٥-٤٩). يتراوح الوزن النوعى بين ٢,٩ و ٣,٤. تحت الميكروسكوب، يُظهر الهورنبلند درجات متفاوتة من اللون البنى والأخضر المزرق والأخضر المصفر والبنى المحمر. يتميز الهورنبلند بالتغير اللوني المتوسط إلى القوى. يتخذ القطاع العرضي شكل سداسى كاذب Pseudo-hexagonal أو شكل الألماس ويُظهر الهورنبلند تضاريس متوسطة إلى عالية. المعدن ثنائى المحور سالب، معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1,6 - 1,70$ ، وبيتا $(\beta) = 1,61 - 1,71$ ، وجاما $(\gamma) =$

١,٦٢ - ١,٧٣، قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.014 - 0.034$ والزاوية البصرية $(2V) = 52^\circ - 85^\circ$.

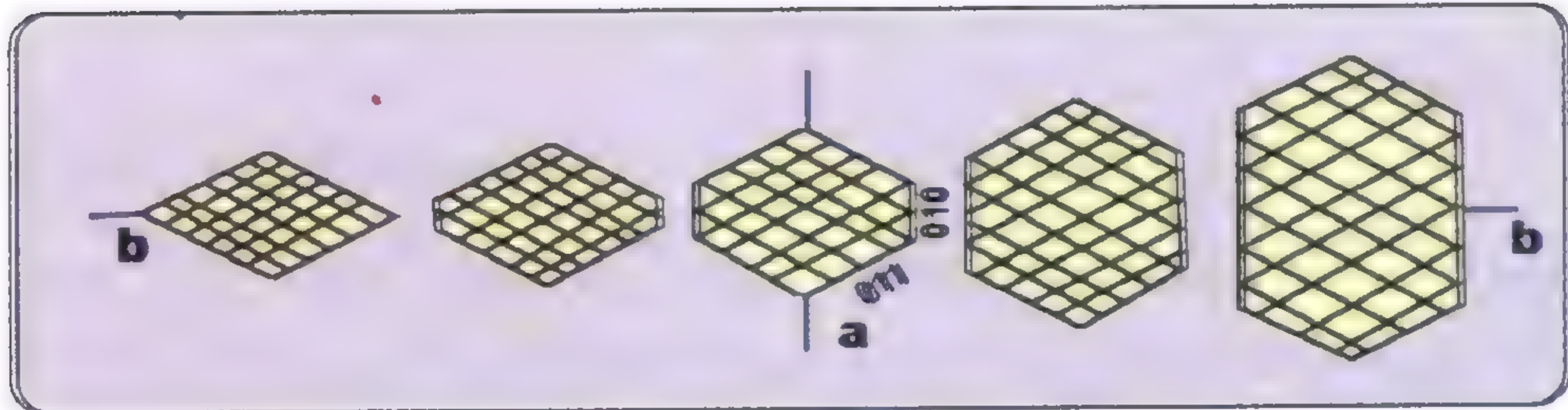
(أ)



(ب)



شكل ٥-٤٨: (أ) بلورة رمادية اللون ومنشورية للهورنبلند من منطقة مونتاسوما بإيطاليا Monte Somma, Italy (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=398). (ب) بلورة كتلية للهورنبلند ذات لون أخضر غامق من منجم فيلاي أجاتز بألمانيا Willi Agatz Mine, Germany. (Thomas Witzke + Abraxas Verlag).



شكل ٥-٤٩: الإنقسام المميز للأمفيبول عند 56° و 124° في مقاطع لبلورات مختلفة.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الهورنبلند في أنواع مختلفة من الصخور النارية والمتحولة. يصاحب عادةً البلاجيوكليز والكوارتز في الصخور النارية المتوسطة التركيب مثل الديوريت والأنديزيت، كما يصاحب معادن مافية مثل البيروكسين والأوليفين بالصخور المافية. ويتواجد بكثرة بالصخور المافية المتحولة وخصوصاً بصخور الأمفيبوليت التي تحتوي على الهورنبلند بشكل أساسي بالإضافة إلى البلاجيوكليز. قد يتواجد الهورنبلند على صورة التشيرماكييت بالصخور المتحولة عالية الدرجة مثل الأمفيبوليت الكيانيتي أو قد ينتج من

تحويل تراجعى لسحنة الإكلوجيت (من معدن الأومفاسيت)، بينما يتواجد البارجازيت بالصخور الجيرية الدولوميتية غير النقية حيث يتوافر عنصر الماغنسيوم بكثرة وهو اللازم لتكوين البارجازيت. قد يتواجد الهورنبلند أيضاً كمعدن ثانوى فى بعض من الصخور النارية حيث ينتج عن تغاير البيروكسين. يحدث أحياناً نوع من التغاير للهورنبلند ليعطي معدني البيوتيت والكلوريت أو معدن سيليكاتى غني بالماغنسيوم والحديد. من المعادن المصاحبة: الكوارتز والبلاجيوكليز والأوجيت والميكا والماجنيتيت والعديد من المعادن ذات درجة التحول المتوسطة.

الاستخدامات

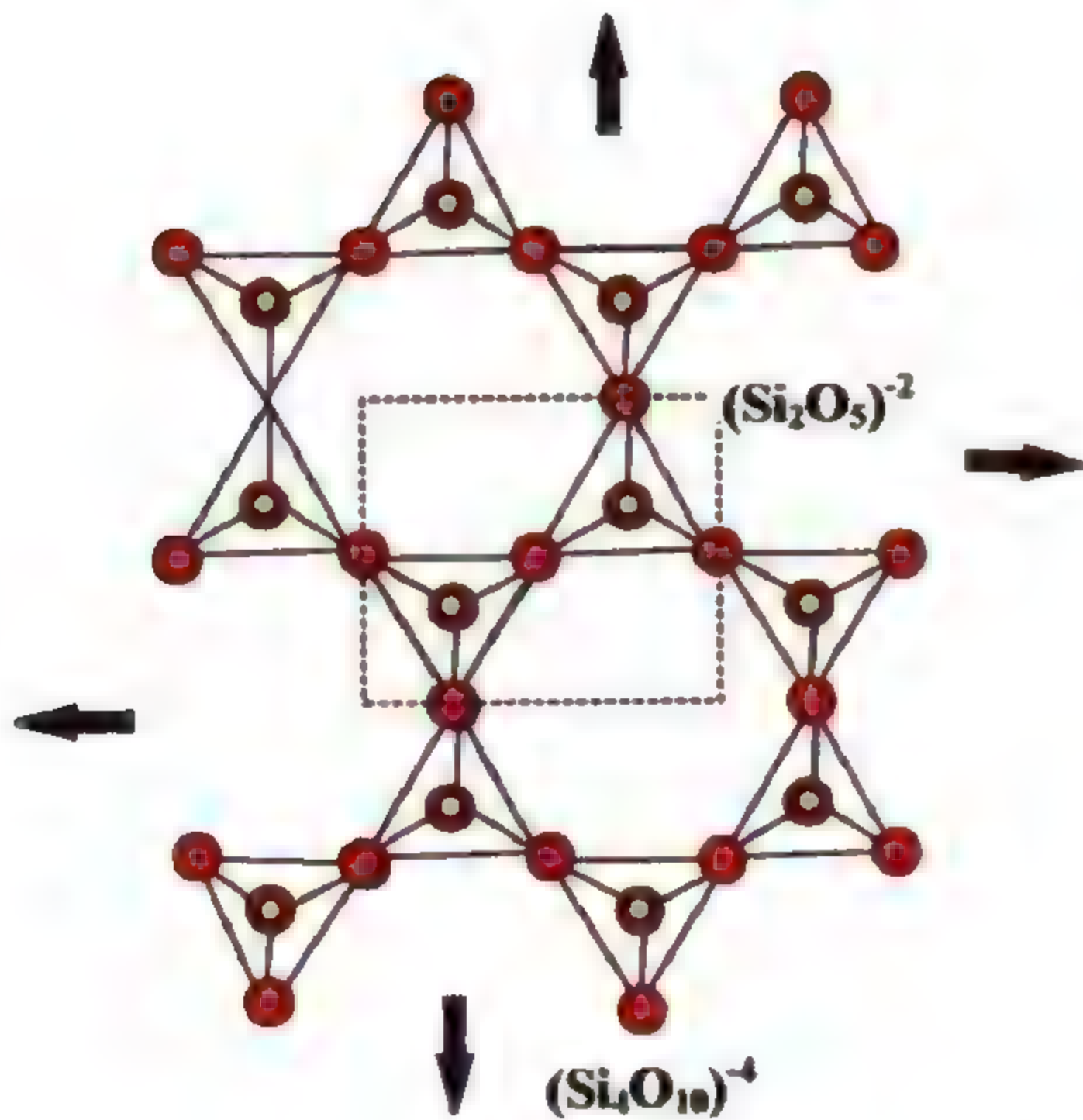
من الناحية الإقتصادية، يعتبر الهورنبلند عديم الفائدة، فيما عدا تواجدته من ضمن مكونات بعض صخور الزينة.

الباب السادس

الفيلوسيليكات (السيليكات الصفائحية)

Phyllosilicates

أُشتق اسم فيلوسيليكات من الكلمة اليونانية فيلون *Phyllon* بمعنى ورقة حيث أن المعادن التابعة لهذه الطائفة ذات هيئة صفائحية ويوجد بها إنقسام واحد واضح. وبصفة عامة تتميز هذه المعادن بالوزن النوعي والصلادة المنخفضة وكذلك بمرونة صفائح الإنقسام القابلة للإنثناء. وترجع تلك الخصائص المميزة لمعادن السيليكات الصفائحية إلى البناء الذري الذي يتكون من صفائح تتكون من السيليكون والأكسجين بصفة أساسية.

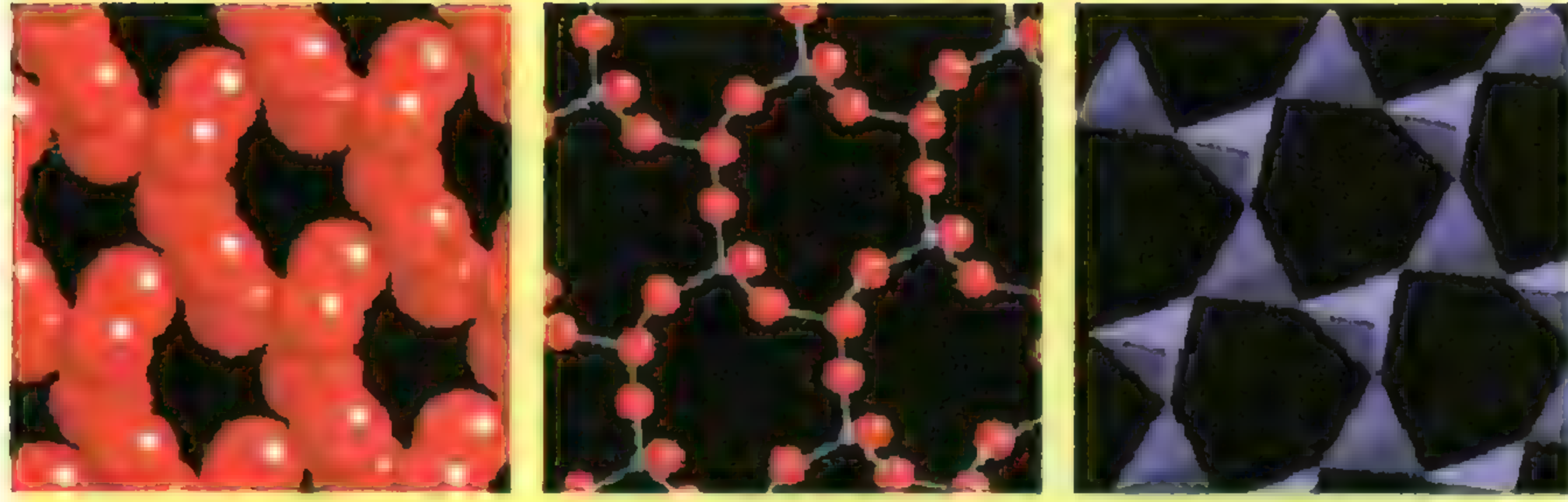


شكل ٦-١: ترتيب رباعيات الأوجه السيليكاتية في الفيلوسيليكات. نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢ : ٥.
 ● أكسجين ○ سيليكون

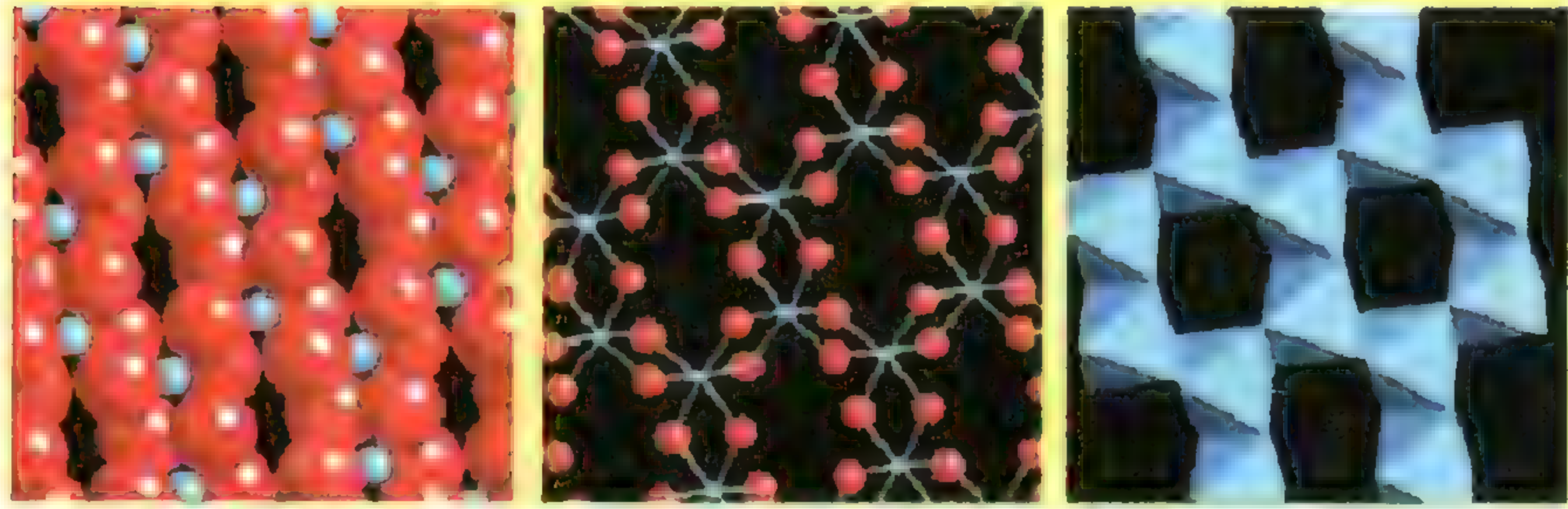
يتكون البناء البلوري في هذه المعادن من نوعين من الصفائح Sheets: صفائح من رباعيات الأوجه SiO_4 tetrahedra و صفائح من ثمانيةات الأوجه AlO_6 octahedra. وترتبط رباعيات الأوجه بعضها البعض عن طريق المشاركة في ذرات الأكسجين، ويشترك كل رباعي الأوجه بثلاث ذرات أكسجين مع رباعيات الأوجه المجاورة عند الأركان ليكون نموذج شبكي سداسي الأضلاع Hexagonal mesh pattern ممتد

في مستوى من بعدين مكوناً تركيب صفائحي. في هذا البناء الصفائحي، تبلغ نسبة السيليكون إلى الأكسجين ٢ : ٥ (شكل ٦-١). وغالباً ما تُستبدل بعض ذرات السيليكون بذرات كل من الحديد الثلاثي والألومنيوم Al و Fe ونادراً ما تستبدل بالبورون B والبريليوم Be . تأخذ ذرات الأكسجين عند الأركان

الأخرى (ذرات الأكسجين الطرفية Apical oxygen) اتجاه واحد لتكوّن جزء من النوع الآخر من الصفائح المتكوّن من ثمانية الأوجه. تتصل ثمانية الأوجه هذه بعضها البعض عند الحواف (شكل ٦-٢).



أ- التوزيع الفراغي لرباعيات الأوجه



ب- التوزيع الفراغي لثمانيات الأوجه

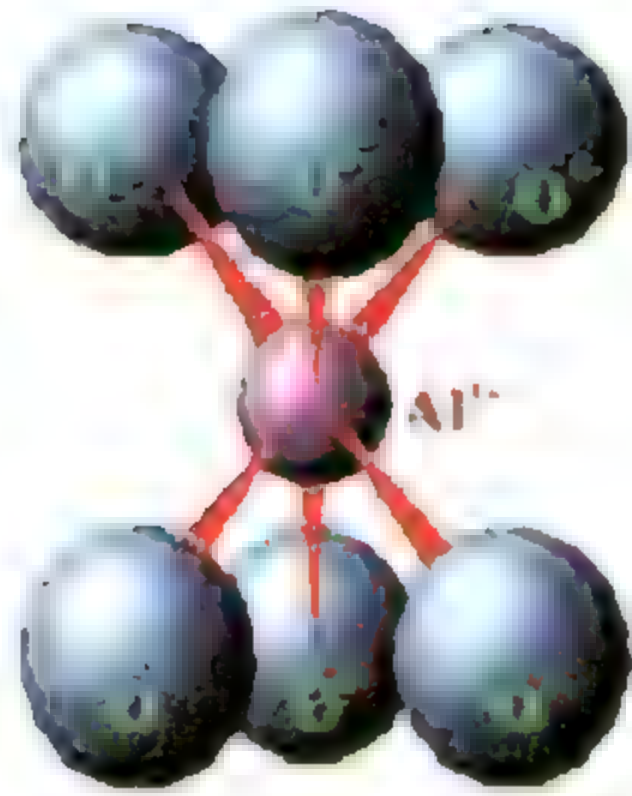
شكل ٦-٢: التوزيع الفراغي لكل من رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه في الفيلوسيليكات

في بعض المعادن، قد لا تشير ذرات الأكسجين الطرفية في الصفائح رباعية الأوجه إلى اتجاه واحد فقد تنقلب رباعيات الأوجه لتتشترك ذرات الأكسجين الطرفية بصفائح رباعية أو ثمانية الأوجه في الاتجاه المعاكس، كما سيتضح لاحقاً. بشكل عام هناك نوعان من هذا البناء:

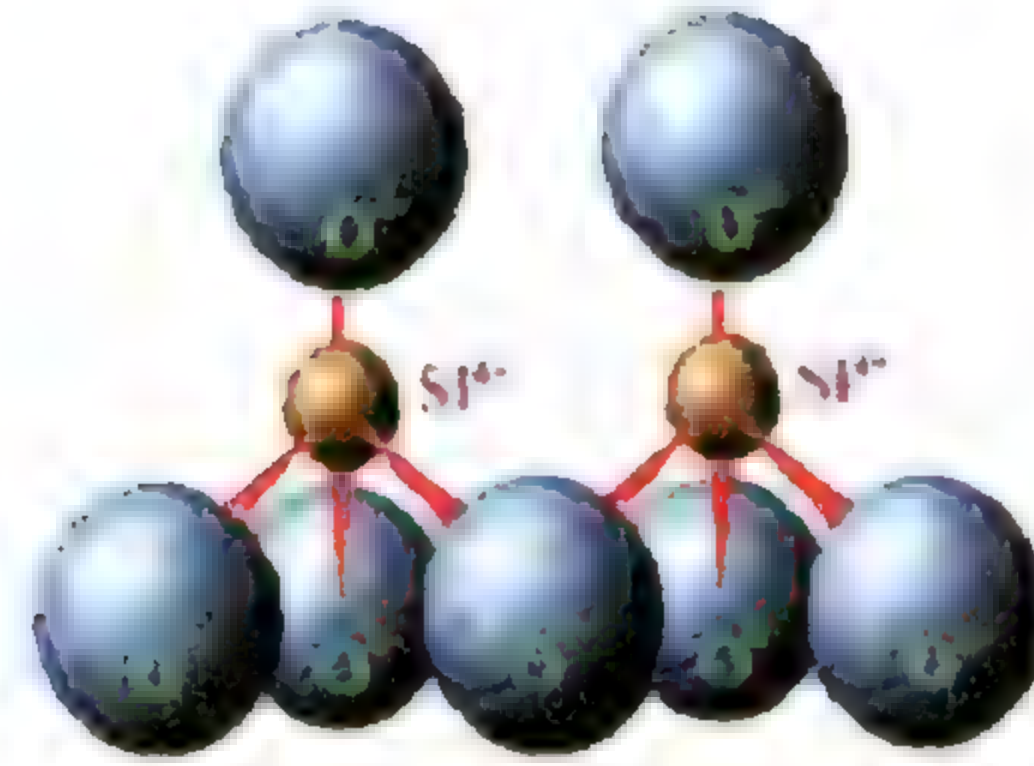
١- بناء صفائح من نوع T-O (طبقة إلى طبقة ١:١):

في هذا البناء ترتبط طبقة من رباعيات الأوجه بطبقة من ثمانية الأوجه، وتتمثل الأنيونات الغير مشتركة في المستويات العليا من طبقة ثمانية الأوجه بمجموعات الهيدروكسيل (OH). وهذه الصيغة من

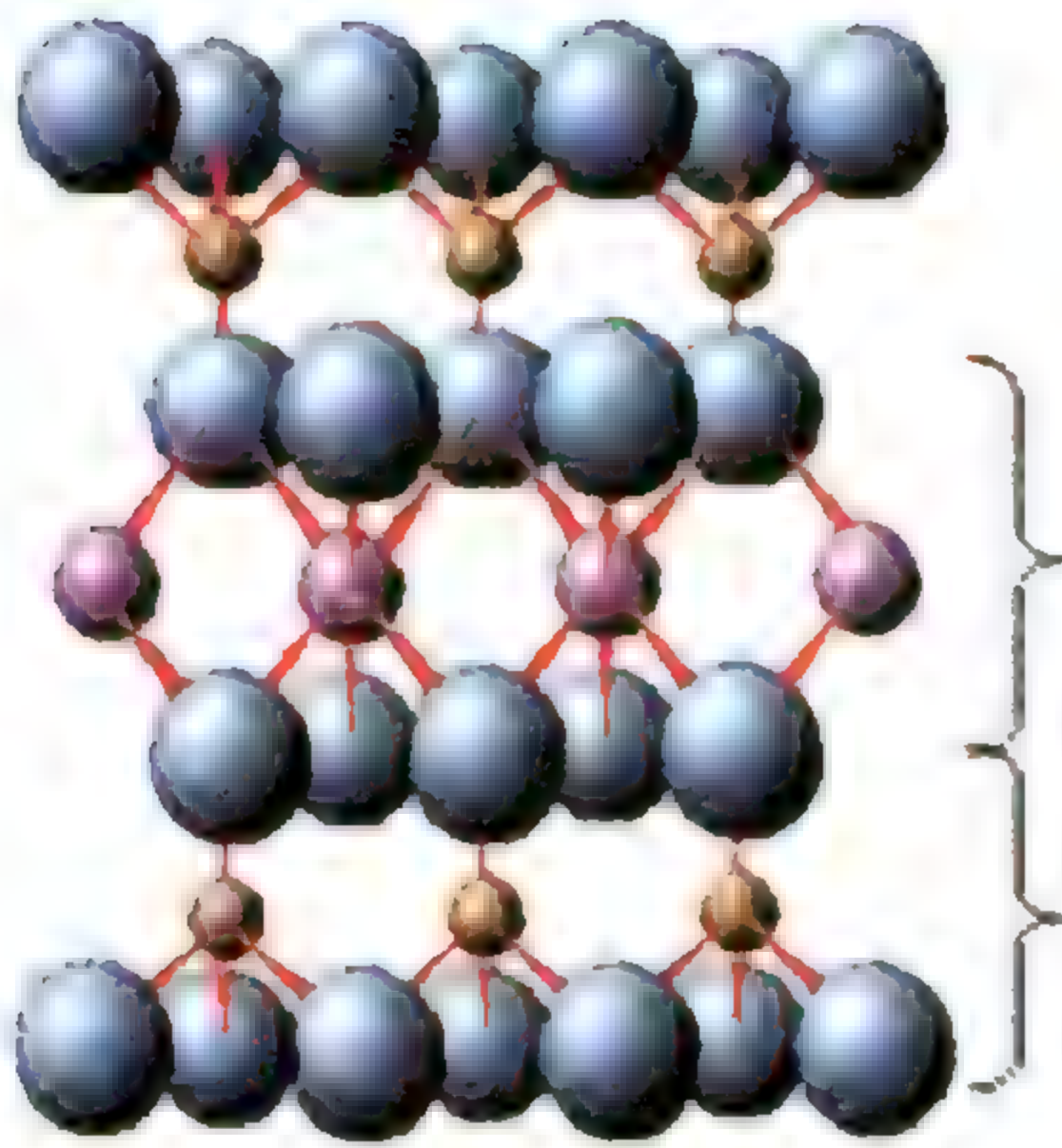
الصفائح متعادلة كهربائياً (شكل ٦-٣)، مثل البناء الذري لمعادن السربنتين والكاولينيت.



وحدة من ثمانية الأوجه

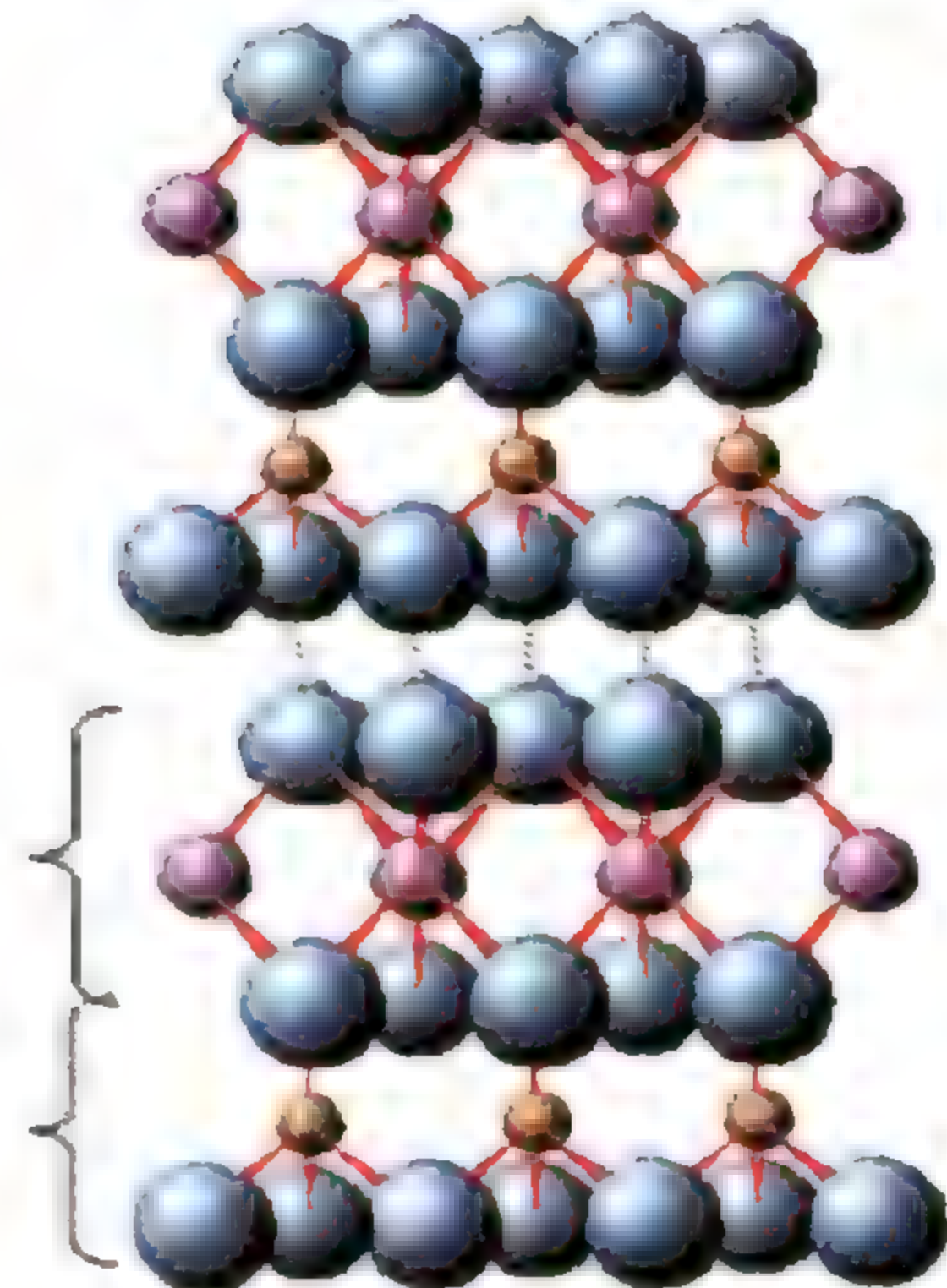


وحدة من رباعيات الأوجه



طبقة من
ثمانيات الأوجه
طبقة من
رباعيات الأوجه

ب- بناء صفائحي من نوع T:O:T
للكاولينيت



أ- بناء صفائحي من نوع T:O
للكاولينيت

شكل ٦-٣: البناء الصفائحي لمعادن الفيلوسيليكات

٢- بناء صفائحي من نوع T-O-T (طبقة إلى طبقتين ٢:١): ترتبط طبقتين من رباعيات الأوجه في هذا البناء بطبقة من ثمانية الأوجه. ولإتمام هذا الارتباط، تصبح طبقة رباعيات الأوجه العليا مقلوبة وتكون ذرات الأكسجين الطرفية متجهة لأسفل لترتبط بطبقة ثمانية الأوجه السفلى (شكل ٦-٣ ب). ويكون كل من مستويات الأنيونات في ثمانية الأوجه لها نفس التركيب الكيميائي من الأكسجين

والهيدروكسيل. يتصف هذا البناء أيضاً بأنه متعادل كهربائياً أو يحمل شحنة سالبة تتعادل بوجود مواد بين الصفائح والتي تشمل كاتيونات وحيدة أو كاتيونات مائية، وهى عبارة عن كاتيونات متصلة بمجموعة هيدروكسيل، أو مجموعات أو صفائح من الهيدروكسيدات الفلزية ثمانية التناسق Metal-hydroxyl octahedral sheets (بيلي ١٩٩١ Bailey) أو مركبات عضوية، مثال البناء البلوري لمعدن التلك والميكا والكلوريت والمعادن الطينية (عدا الكاولينيت).

ترتبط هذه الصفائح بعضها ببعض بواسطة روابط ضعيفة وغالباً ماتتواجد جزيئات ماء وجزيئات أخرى أو ذرات متعادلة بين الصفائح مما يجعل هذه البناء منتجاً لمعادن لينة ذات صلادة ضعيفة تترك أثر على قطع القماش مثل التلك، وبعض المعادن لها تركيب الألياف التي تتشكل لتكون أنابيب مثل معدن الأسبستوس. سنعرض فى هذا الباب البناء البلورى لكل معدن على حده عند وصفه بالفقرات الآتية.

تُصنف هذه المجموعة بناءً على البنية الصفائحية ونوعية الأيونات فيما بين الصفائح Interlayer materials إلى سبع مجموعات معدنية، وتُصنف أكثر إلى مجموعات تحتية بناءً على نوع الصفائح الثمانية الأوجه: ثنائي الثماني Dioctahedra أو ثلاثي الثماني Trioctahedra (جدول ٦-١).

ترجع أهمية معادن السيليكات الصفائحية لكونها النواتج الأساسية لعمليات التجوية الكيميائية وتعرية الصخور، وبالتالي تكون الجزء الأكبر من التربة والصخور الرسوبية دقيقة الحبيبات. وتتوقف خصائص التربة على الخواص المختلفة لهذه المعادن. كما أن معادن السيليكات الصفائحية تتحمل الضغط والحرارة العالية لذلك تشكل جزء كبير من الصخور المتحولة مثل الميكا التي تعتبر أهم مكونات صخور الشيست.

جدول ٦-١: تصنيف معادن السيليكات الصفائحية (بيلي ١٩٩١)

البناء الصفائحي	الأيونات بين الصفائحية	مجموعة	تحت مجموعة	أمثلة من المعادن
١:١	لا توجد أو ماء فقط	سربنتين- كاولينيت	سربنتين	كريزوتيل، ليزارديت
			كاولينيت	كاولينيت، ديكيت
١:٢	لا توجد	تلك- بيروفيلايت	تلك	تلك
			بيروفيلايت	بيروفيلايت
	سميكتيت	صابونيت	صابونيت	
		مونتموريللونيت	مونتموريللونيت	
	فيرميكيوليت	فيرميكيوليت ثنائي الثماني	فيرميكيوليت ثنائي الثماني	
		فيرميكيوليت ثلاثي الثماني	فيرميكيوليت ثلاثي الثماني	
	ميكا	ميكا ثنائي الثماني	مسكوفيت، جلوكونيت	
		ميكا ثلاثي الثماني	بيوتيت، ليبيدوليت، فلوجوبيت	
	ميكا هشة	ميكا هشة ثنائي الثماني	مارجريت	
		ميكا هشة ثلاثي الثماني	كلينتونيت	
	طبقة هيدروكسيل	كلوريت	كلوريت ثنائي الثماني	دونباسيت
			كلوريت ثلاثي الثماني	كلينوكلور، شموزيت
			كلوريت ثنائي ثلاثي الثماني	كووكيت

مجموعة التلك والبيروفيليت

Talc-Pyrophyllite Group

تنتمي مجموعة معادن التلك والبيروفيليت إلى المعادن السيليكاتية الصفائحية ذات التركيب البنائي ٢ : ١ (T-O-T) الذي يتكون من نوعين من الصفائح: الرباعية الأوجه Tetrahedral sheet التي بدورها تتكون من X_2O_5 (حيث X تمثل بذرات حديد ثلاثي وألومنيوم وسيليكون) وترتبط فيها رباعيات الأوجه SiO_4 Tetrahedra بعضها ببعض بذرات الأوكسجين عند ثلاث أركان لتكوّن صفائح لانهائية ذات بعدين مكونة حلقات سداسية الشكل (أنظر شكل ٦-١)، أما ذرة الأكسجين عند الركن الرابع من رباعيات الأوجه فتكون ركن من الوحدات ثمانية التناسق Octahedral coordination unit حول الكاتيونات الكبيرة مثل الألومنيوم في البيروفيليت والماغنسيوم في التلك. هذه الكاتيونات ثمانية التناسق تكوّن صفائح ثمانية الأوجه Octahedral sheets وترتبط فيها ثمانية الأوجه جانبياً عند الحواف (أنظر شكل ٦-٢). تتكون الوحدة البنائية من طبقتين من رباعيات الأوجه متقابلة في الوضع تحوي فيما بينهما طبقة من ثمانية الأوجه لتكوّن تركيب يشبه السندوتش (أنظر شكل ٦-٣). كما ترتبط وحدات ثمانية الأوجه بمجموعات الهيدروكسيل. تكون الطبقات الصفائحية في هذه المجموعة متعادلة كهربياً، لذلك لا توجد أيونات بين الطبقات الصفائحية وترتبط ببعضها بواسطة روابط فاندرفال الضعيفة.

تصنف هذه المجموعة من المعادن كما سبق بناءً على طبيعة طبقة ثمانية الأوجه، فقد تكون ثنائية Dioctahedral كما هو الحال في البيروفيليت أو ثلاثية Trioctahedra كما هو الحال في التلك.

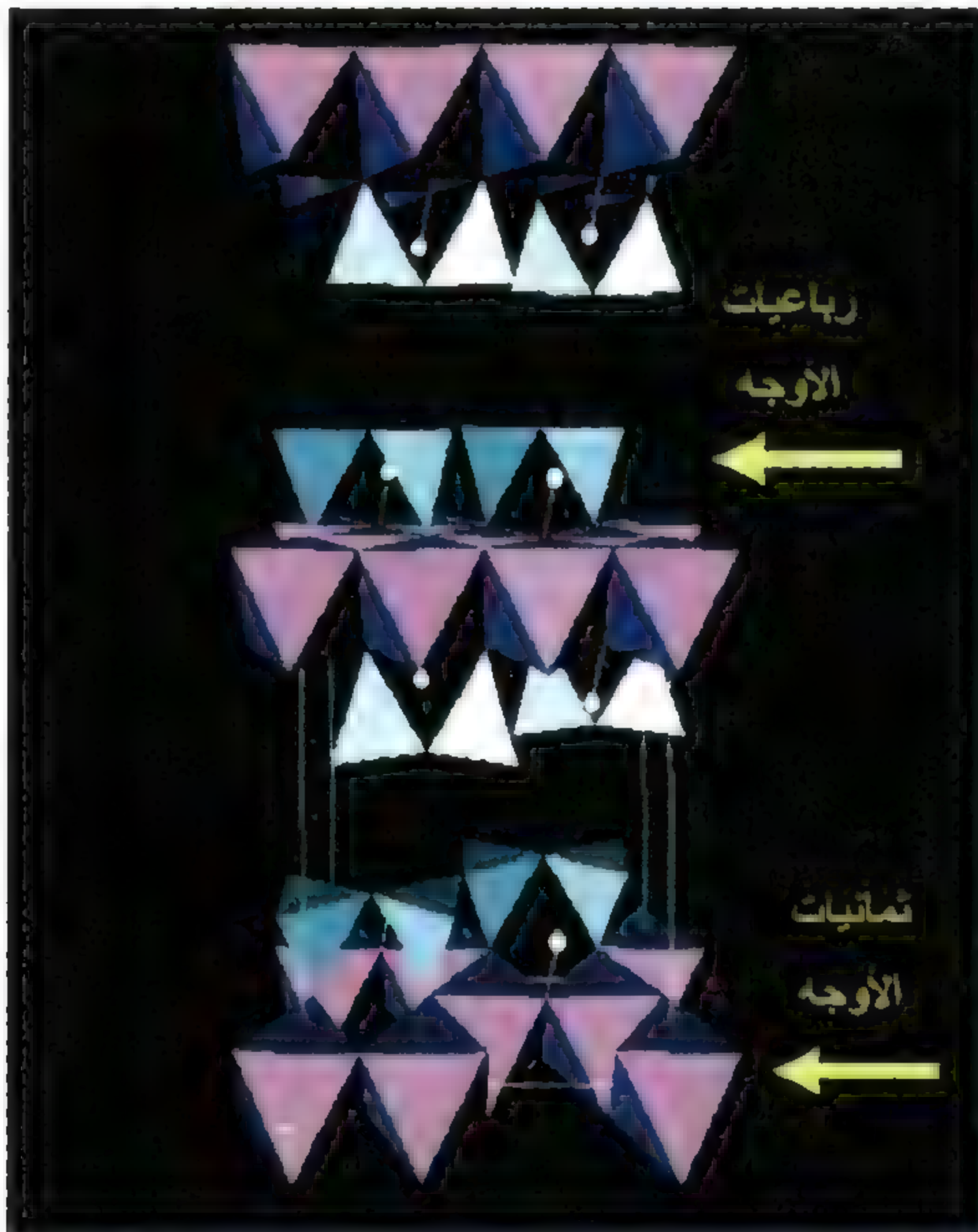
التلك Talc



اسم التلك قديم ومن المحتمل أن يكون من أصل عربي (دير وأخرون ١٩٩٢). التلك معدن لين وناعم الملمس ويعرف التلك الموجود

في هيئة كتل متماسكة غير نقية بالحجر الصابوني Soapstone والذي يمكن تشكيله لأشكال مختلفة، كما يُعرف النوع عالي الجودة والكتلي Massive، يعرف بالاستيتيت Steatite والذي يُستخدم في تصنيع العوازل الكهربائية. أما تلك الناعم جداً والمعروف بالطباشير الفرنسي French chalk يعتبر صالح لتصنيع كرايونات صناعة الصلب Steel-making crayons (روى Roe ١٩٨٣).

البنية البلورية



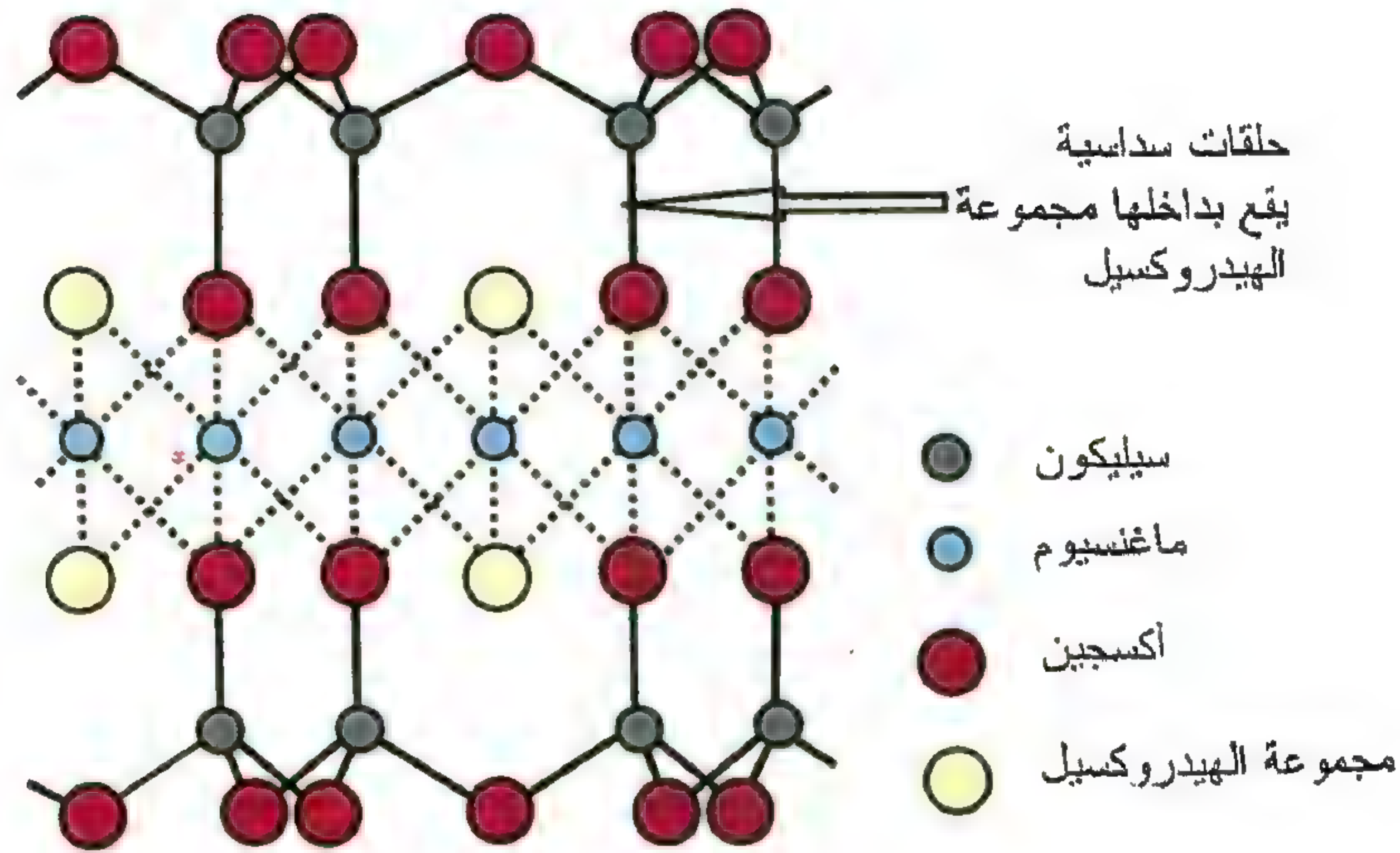
شكل ٦-٤: البناء الصفائحي من النوع ١:٢ T-O-T الممثل لمعدن التلك

يتبلور معدن التلك في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/c$. تبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 0.27$ ، $b = 0.912$ ، $c = 1.885$ أنجستروم والنسب ما بين هذه الأبعاد $a:b:c = 1:0.578:1$: 2.067 ومقدار زاوية بيتا $= 100^\circ$ ويبلغ ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 4$. الهيئة البلورية نادرة الوجود وعادة ماتكون على شكل لوحى معينى أو سداسية الحدود. تتكون البنية البلورية لمعدن

التلك من صفيحتين من رباعيات الأوجه تحيطان بطبقة من ثمانيات الأوجه (النوع ١:٢ T-O-T، شكل ٦-٤). تتكون الكاثيونات ثمانية التناسق فى التلك من الماغنسيوم الذي يشغل كل المواقع المتوسطة لثمانيات الأوجه ولا توجد مواقع فارغة (شكل ٦-٥). ترتبط صفائح رباعيات الأوجه بالصفائح

ثمانيات الأوجه عن طريق الاشتراك في ذرة الأكسجين الرابعة والطرفية لرباعيات الأوجه. كما أن ثمانيات الأوجه ترتبط بمجموعات الهيدروكسيل. والتي تقع في نفس مستوى ذرة الأكسجين الطرفية Apical oxygen وفي وسط الحلقات السداسية التي تكونها رباعيات الأوجه (شكل ٥-٦).

وترتبط الطبقات الصفائحية المتعادلة الشحنة بعضها ببعض عن طريق روابط فاندرفال الضعيفة مما يجعل معدن تلك لين وناعم اللمس ويترك أثراً على قطع القماش.



شكل ٥-٦: البناء البلوري لمعدن تلك، تشغل ذرات الماغنسيوم جميع مواقع ثمانيات الأوجه.

كيمائية المعدن

يتكون معدن تلك من سيليكات الماغنسيوم المائية. والصيغة الكيميائية المثالية للمعدن النقي تمثل بـ $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ، ويحتوي تلك النقي على SiO_2 %٦٣,٣٦ ، MgO %٣١,٨٩ ، H_2O %٤,٧٥ ، وأحياناً قد يحيد تلك عن تلك الصيغة الكيميائية بإحلال نسب صغيرة من أيونات الحديد الثنائي والثلاثي محل الماغنسيوم، وقد تحل كميات ضئيلة من أيونات التيتانيوم

جدول ٦-٢: نماذج من التحاليل الكيميائية للتلك في كل من السويد ومصر

الأكسيد	السويد	مصر	
		٢	٣
SiO ₂	٦٢,٦١	٦٠,٥٠	٣٧,٨١
Al ₂ O ₃	ضئيل	١,٥٦	٠,٤٦
MnO	٠,٠١	—	٠,٠٤
Fe ₂ O ₃	٢,٤٦	٠,٧٠	٥,٩١
CaO	—	٥,٤٧	٠,٣٢
MgO	٣٠,٢٢	٢٦,٣١	٣١,٧٨
Cr ₂ O ₃	—	—	٠,٣١
Ni ₂ O ₃	—	—	٠,٢٦
TiO ₂	—	ضئيل	٠,٠٢
Na ₂ O	—	٠,٣٦	—
K ₂ O	—	٠,١٦	—
H ₂ O	٤,٧٢	—	—
فاقد حريق (LOI)	—	٤,٦١	٢٢,٦١
الإجمالي	١٠٠,٠٢	٩٩,٦٧	٩٩,٠٢

١- تلك من بيريدوتيت متغاير، شمال السويد (دى ريتز ١٩٣٥ Du Rietz)

٢- تلك منطقة العطشان، الصحراء الشرقية (جاد وطلعت ١٩٦٩ Gad and Talaat)

٣- صخر التلك-كربونات. منطقة البرامية، الصحراء الشرقية المصرية (حسين وآخرون ١٩٩٧ Hussein et al.)

والألومنيوم محل السيليكون، وعندئذ يدخل عدد قليل من أيونات الصوديوم والبوتاسيوم في البناء البلوري ليعادل الفرق في الشحنات الكهربائية، عندما يحل الحديد كلياً محل الماغنسيوم يتكون المتشابه الشكلي للتلك الذي يعرف بالمينيسوتيت Minnesotaite وله الصيغة الكيميائية $[\text{Fe}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ ويكون سلسلة محاليل صلبة مع التلك. يبين جدول (٦-٢) التحاليل الكيميائية لبعض خامات التلك.

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أبيض وأبيض فضي ورمادي وأخضر فاتح أو قاتم. البريق لؤلؤي والمعدن النقي نصف شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة أما المخدش فلونه أبيض. الصلادة منخفضة (رقم ١ في مقياس موهس للصلادة). يتواجد تلك عادة في كتل صفائحية أو تجمعات ليفية، وفي بعض الأحيان في هيئة كتل متماسكة (شكل ٦-٦)، وقليلًا ما يتواجد في هيئة بلورات ذات شكل الطاولة والتي تظهر مستوى انفصام {001} مكونة رقائق مرنة قابلة للانثناء بدرجة محدودة. يتراوح الوزن النوعي لتلك ما بين ٢,٧-٢,٨٢. يمتاز المعدن أيضاً باللمس الصابوني الناعم ولا يتأثر بالأحماض. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1,539$ - $1,589$ وبيتا $(\beta) = 1,589$ - $1,594$ وجاما $(\gamma) = 1,589$ - $1,6$ وتبلغ قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,05$ والزاوية البصرية $(2V) = 0^\circ - 30^\circ$. تتغير الخصائص البصرية لتلك بسبب وجود كميات ولو بسيطة من الأيونات مثل التيتانيوم والمنجنيز التي تستبدل الماغنسيوم أو السيليكون، أو بسبب الماء الممتص بين الطبقات الصفائحية في بنية تلك (دير وآخرون ١٩٩٢). تلك صعب الانصهار ولكن يتأثر بالحرارة ويتحول عند درجة حرارة ٨٠٠ درجة مئوية إلى بيروكسين (معدن الإنستاتيت Enstatite) وسيليك حرة (كريستوباليت Cristobalite). ويقل وجود أكسيد الحديد الثنائي من الثبات الحراري لتلك (إيفانز وجوجينهيم ١٩٩١ Evans and Guggenheim). يسبب الطحن الشديد Intensive grinding لتلك تغيرات ملحوظة في الخصائص الفيزيائية-كيميائية المصاحبة لتحويلات في بنيته البلورية. من هذه التغيرات، عند وضع مسحوق تلك في الماء، تتحرر أيونات الماغنسيوم وتنتقل إلى الماء وذلك نتيجة لضعف الرابطة ما بين الماغنسيوم والهيدروكسيل Mg—OH (أجليتي ١٩٩٤ Aglietti). يمتاز تحليل الحيود بالأشعة السينية لمعدن تلك بنتوءات قوية عند المسافات البينية (d-spacing) ١,٨٧، ٢,٤٨، ٣,١١، ٤,٥٦، ٩,٣٤ أنجستروم.



شكل ٦-٦: شكل كتلى لمعدن التلك أبيض اللون

يمكن تمييز التلك عن البيروفيلايت عن طريق وضع قطعة من التلك في نيترات الكوبالت ثم وضعها على لهب بنزن فيعطي لوناً بنفسجياً باهتاً أما البيروفيلايت، عندما يتعرض لنفس الظروف، فيعطي لوناً أزرق. كما أن الزاوية البصرية للبيروفيلايت أكبر من التلك.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون التلك وهو معدن ثانوي نتيجة تحول الصخور الغنية بعنصر الماغنسيوم خاصة الصخور فوق المافية والدولوميتية وبعض الصخور البركانية. تكون معظم تواجيدات التلك في الصخور النارية فوق المافية المتأثرة بالمحاليل الحرمائية المحملة بثاني أكسيد الكربون وتسمى هذه العملية بالتحول السائلي أو التحوال CO₂-metasomatism، وغالباً ما يصاحب هذا التحوال تكون السربنتين وبدوره يتحول إلى معدن التلك بنفس العملية:



أوليفين

سربنتين



سربنتين

تلك

ماجnezيت

يتكون التلك أيضا من الصخور الكربوناتية بواسطة التحول الحرارى Thermal metamorphism المنخفض الدرجة لصخور الدولوميت أو الحجر الجيري الدولوميتي الحاوي على كوارتز، ويحتاج التحول إلي كميات كافية من الماء كما بالمعادلة الآتية:



كالسيت . تلك . ماء كوارتز دولوميت

يؤدي وجود معدن التلك مع الصخور المتحولة مثل صخور الشيست إلى صلبة معدنية مميزة تشمل كل من التريمولايت والكلوريت والنسربنتين والأنثوفيليت والديوبسيد والماجنيزيت والبيروفيلايت والكوارتز والدولوميت والكالسيت. يوجد التلك في أماكن كثيرة في العالم منها سويسرا وإيطاليا وفرنسا وألمانيا وأمريكا ويوجد أيضاً في عدة مواقع بالصحراء الشرقية في مصر منها درهيب وعطشان وبرانيس وزرقة النعام والبرامية. وفي المملكة العربية السعودية في مناطق الأمار وجبل فرسان شمال شرق مدينة جدة وينبع وبئر عميق ونبيطة.

الاستخدامات

التركيب معدن متعدد الأغراض فهو يدخل في أكثر من ٦٠ تطبيق صناعي (روى ١٩٨٣ Roe) فيدخل أساساً في صناعة الحراريات ويعمل كمادة مالئة في صناعة الورق والبويات والمطاط والبلاستيك، كما يدخل في صناعة مساحيق التجميل والمبيدات الحشرية. بالرغم من أن معظم خامات التلك في العالم ليست بدرجة عالية من النقاوة، فإن كل صناعة تتطلب مواصفات محددة لخامات التلك المستخدم مثل درجة البياض وحجم الحبيبات ومعامل الانكسار ونسبة المعادن الصلبة مثل الكوارتز والكربونات والتريمولايت (شانج ٢٠٠٢ Chang)، لذلك من الضروري عمل فصل وتركيز لخامات التلك لتنقيتها وتحسين مواصفاتها لاستغلالها في بعض الأغراض مثل مساحيق التجميل وبودرة الأطفال. وقد أُستغل ركاز التلك الناتج من عمليات الفصل لخامات التلك - كربونات المصرية في صناعة الشحومات (العادلي

والوكيل ١٩٩٨ (Al-Adly and Al-Wakeel). كما أن التلك صالح لصناعة عوازل الحرارة والكهرباء.

تنتج كل من الولايات المتحدة والصين والهند وفنلندا وفرنسا والنمسا وإيطاليا وروسيا ٥٠% من إنتاج العالم من التلك. أنتجت مصر في عام ١٩٨٣-١٩٨٤ حوالي ١٢,٢٠٠ طن وقلت هذه الكمية إلى ٦٥٠٣ طن في عام ١٩٨٩ وإرتفع الإنتاج عام ١٩٩٥ إلى ٣٨,٦٠٨ طن (المساحة الجيولوجية المصرية ١٩٨٤ و ١٩٩٥ و ١٩٩٧) بينما أنتجت الولايات المتحدة في عام ١٩٨٩ حوالي مليون طن وارتفعت هذه الكمية إلى حوالي ٣,٥ مليون طن في عام ١٩٩٧. بينما أنتجت أوروبا عام ١٩٩٧ حوالي ٢٣ مليون طن (بيرجر ١٩٩١ Burger وكيجان ١٩٩٧ Keegan).

البيروفيليت Pyrophyllite

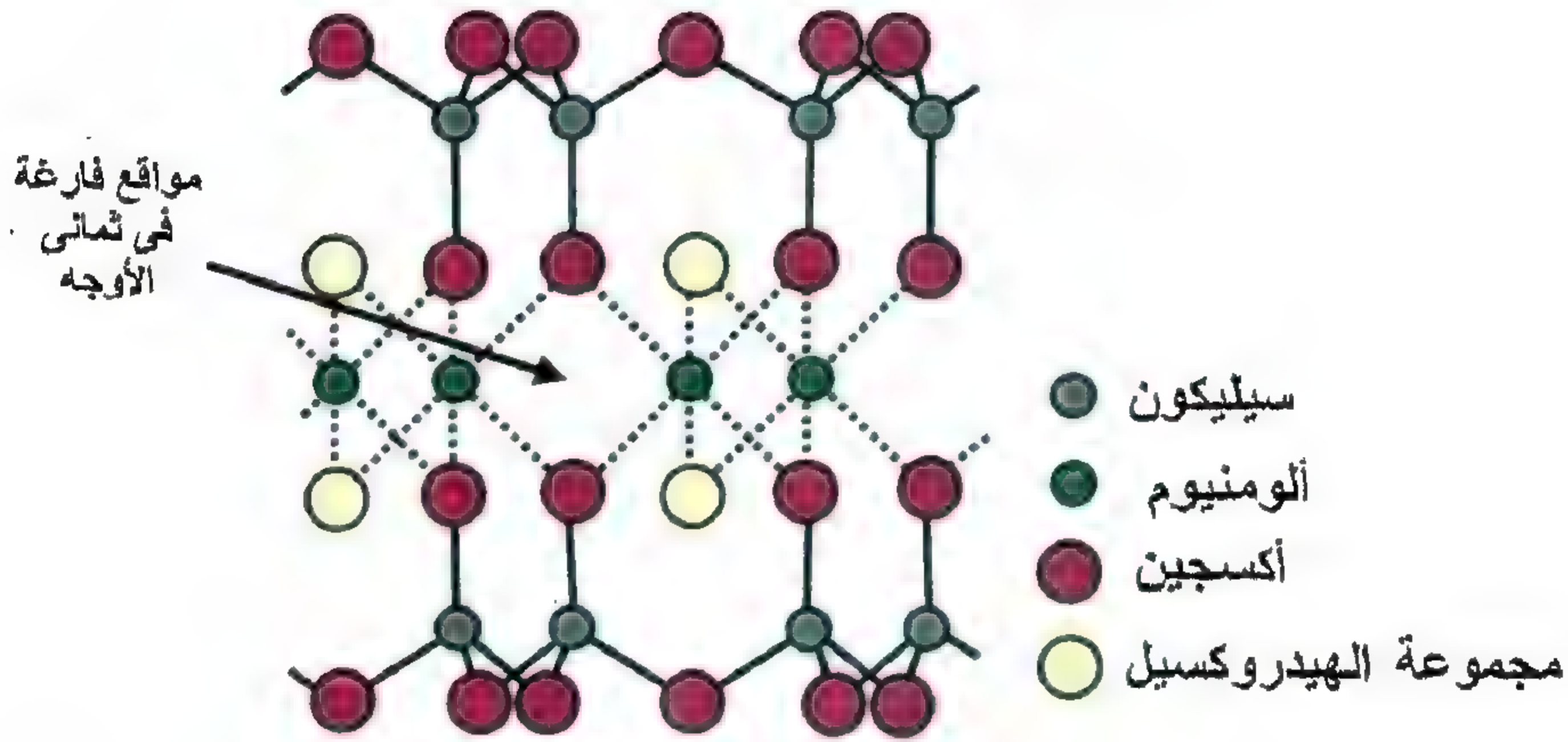


البيروفيليت معدن غير شائع نسبياً في الطبيعة ، ويشبه إلى حد كبير التلك من حيث البنية البلورية والمظهر وبعض الخصائص الفيزيائية، ولكن يختلف عن التلك في التركيب الكيميائي والتواجد. يمتاز البيروفيليت بمقاومة عالية لتحمل الصدمات الحرارية والمقاومة العالية للتآكل، لذلك فهو يستخدم أساساً في صناعة الحراريات والسيراميك. تتفصل أجزاء المعدن عند تسخينه إلى أشكال على هيئة مراوح Fan-like forms وهذا سبب تسميته بهذا الاسم.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد وأحياناً الميول الثلاثة. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية $C2/c$ أو $C\bar{1}$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة أ = ٥,١٥ و ب = ٨,٩٢ و ج = ١٨,٥٩ انجستروم والنسب ما بين هذه الأبعاد أ : ب : ج = ٠,٥٧٧ : ١ : ٢,٠٨٤ وتبلغ زاوية $(\beta) = 99,92$ درجة ويبلغ ما تمتلكه خلية الوحدة من الذرات $(Z) = 2$. تماثل البنية البلورية للبيروفيليت البنية البلورية لتلك إلا أن في معدن البيروفيليت صفائح ثمانية الأوجه ذات الطبيعة ثنائي الثماني، كما أن ثلثي مواقع ثمانية الأوجه تشغل

بأيونات الألومنيوم وتبقى باقي المواقع فارغة (شكل ٦-٧). يرجع إرتباط الصفائح (١:٢) المتعادلة كهربائياً في المعدن إلى قوى جذب فندرفال رغم أن جيز (Giese ١٩٧٥) أشار إلى وجود قوى جذب إلكتروستاتيكية صغيرة جداً بين هذه الصفائح حتى في حالة الطبقات المتعادلة كهربائياً. مما يسبب الطبيعة اللينة لهذه المعادن.



شكل ٦-٧: البناء البلورى لمعدن البيروفيلايت: تشغل أيونات الألومنيوم ثلثي مواقع ثمانيات الأوجه ويبقى الثلث الأخير فارغاً.

كيمائية المعدن

يتكون البيروفيلايت من سيليكات الألومنيوم والهيدروكسيل. والصيغة الكيميائية المثالية للبيروفيلايت النقى هي $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ويتكون من حوالي ٦٦,٠ % SiO_2 و ٢٨,٤ % Al_2O_3 و ٥,٠ % H_2O . وقد يحدث إحلال بسيط للألومنيوم محل السيليكون، وقد يستبدل الألومنيوم بكل من الحديد الثنائي والثلاثي والماغنسيوم. كما سجل وجود كميات ضئيلة من البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم التي غالباً لا تزيد عن ٠,١ % (إيفانز وجوجينهيم ١٩٩١ Evans and Guggenheim). يوضح جدول (٦-٣) التحاليل الكيميائية للبيروفيلايت.

جدول ٦-٣: التحاليل الكيميائية للبيروفيلايت من بعض الدول

الأكسيد	اليابان		كوريا الجنوبية		أستراليا		أمريكا	
	١	٢	١	٢	١	٢	١	٢
SiO ₂	٦٣,٦٤	٨٧,٣٨	٦٧,٦٠	٦٣,٩٠	٧٩,٦٠	٧٦,٣٢	٦٩,٣٨	٦٥,٩٦
Al ₂ O ₃	٢٩,٦٤	١٠,٠١	٢٦,٣٢	٢٧,٦٨	١٢,٧٠	١٩,٨٠	٢٦,٢	٢٨,٢٥
TiO ₂	٠,٢٢	٠,٣٥	—	—	٠,٢٠	—	—	ضئيل
Fe ₂ O ₃	٠,٠٢	٠,١٤	٠,٨٤	٠,٥٦	١,٣٠	٠,١٨	٠,١٨	٠,١٨
CaO	٠,٠٣	٠,١٠	٠,١٩	٠,٦٧	٠,٠٣	٠,١٤	٠,١٤	—
MgO	٠,٠٤	٠,١٥	٠,٢٥	٠,٢٧	٠,١٩	—	—	—
K ₂ O	٠,٠٤	٠,١٤	٠,٢٥	٠,٨٣	٢,٥٨	٠,٢٧	٠,٠٠	—
Na ₂ O	٠,٠٥	٠,٠٤	٠,٦٥	٠,٧٦	٠,٨٨	٠,٠٧	٠,٢٤	—
فقد حريق	٦,٣٢	٢,٠٣	٣,٩٣	٥,٣٥	٢,٤٠	٣,٤٤	٤,٥٠	٥,٤١
الإجمالي	٩٩,٩٣	١٠٠,١٤	١٠٠,٠٣	١٠٠,٠٢	٩٩,٩١	١٠٠,٢٢	١٠٠,٣٦	٩٩,٨٠

اليابان (فوجي ١٩٨٣ Fuji): كوريا الجنوبية (أودريسكول ١٩٨٣ O'Driscoll): أستراليا (ديكسون ١٩٨٦ Dickson): أمريكا (٢-١ كورنش ١٩٨٣ Cornish)،

٣ (٢٠٠١): <http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/pyrophyllite.pdf>

الصفات الفيزيائية والبصرية

لون البيروفيلايت أبيض أو أصفر أو أخضر باهت أو رمادي أو بني مخضر. البريق لؤلؤي أو شحمي والمعدن نصف شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة والمخدش أبيض. الصلادة = ١ - ٢ ويظهر البيروفيلايت مستوى انقسام قاعدي {001} مكونة رقائق مرنة قابلة للانثناء بدرجة صغيرة. الوزن النوعي = ٢,٨ - ٢,٩. يوجد عادة معدن البيروفيلايت في هيئة كتلية أو صفائحية وكتجماعات شعاعية كبيرة وأبرية وكتلية كروية (شكل ٦-٨). المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات انكساره ألفا (α) = ١,٥٣٤ - ١,٥٥٦ وبيتا (β) = ١,٥٨٦ - ١,٥٨٩ وجاما (γ) = ١,٥٩٦ - ١,٦٠١. قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٥ والزاوية البصرية ($2V$) = ٥٣ - ٦٢°

لا ينصهر البيروفيلايت عند درجة حرارة ٥٠٠ - ٨٠٠°م ولكن عند درجة حرارة ١٠٠٠°م يتحلل المعدن إلى موليت Mullite وكريستوباليت مع

خروج جزيئات الماء (ذاريما ١٩٩٥ Zaremba). يتميز البيروفيلايت بقدرات عالية في تحمل الصدمات الحرارية (كورنش ١٩٨٣ Cornish). وعلى العكس من ذلك فللمعدن قوة استجابة ضعيفة للضغط وينقل الضغط بدرجة عالية Pressure-transmitting. مقارنة بمعادن السيليكات الصفائحية الأخرى، يمتاز البيروفيلايت وكل من التلك والسميكتيت بخصائص انسيابية جيدة (أولريتش وراب ١٩٩٣ Ullrich and Raab). يعطى البيروفيلايت في تحليل الحيود بالأشعة السينية نتوءات قوية عند المستويات ٣,٠٧ و ٩,٢١ و ٤,٥٨ أنجستروم.



شكل ٦-٨: معدن البيروفيلايت في الهيئة الشعاعية على هيئة مراوح

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد البيروفيلايت في الصخور المتحولة مصاحباً معدني الكوارتز والكيانيت. يتكون البيروفيلايت بتأثير المحاليل الحرمائية على الصخور البركانية الحامضية والذي يؤدي إلى تحول الفلسبار إلى بيروفيلايت Hydrothermal metamorphism. يتركز إنتاج العالم من البيروفيلايت أساساً في دول شرق آسيا (اليابان وكوريا والصين) والولايات المتحدة وأستراليا،

وتنتج اليابان وحدها نصف إنتاج العالم من البيروفيلايت والذي قدر بـ ٤ مليون طن سنوياً (ديكسون ١٩٨٦) (Dickson)

الاستخدامات

يستخدم المعدن في نفس الأغراض التي يستخدم فيها التلك. فاستخداماته الرئيسية في صناعة الحراريات والسيراميك. بالإضافة إلى استخدامه كمادة مالئة في صناعة الورق والبويات ومساحيق التجميل والمبيدات الحشرية. في مواد الإنشاءات، يضاف البيروفيلايت إلى كلنكر الأسمنت الأبيض وحصى الطرق الأبيض.

مجموعة الميكا Mica Group

أُشتق اسم الميكا من الاسم اللاتيني Micare الذي يعنى اللامع أو الساطع نسبةً لبريق معادن هذه المجموعة. تشمل هذه المجموعة عدة معادن تتشابه في البنية البلورية وبعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية. تتمثل الصيغة العامة لمعادن هذه المجموعة في $[X_2Y_{4-6}Z_8O_{20}(OH,F)_4]$ ، حيث "X" تمثل أساساً بالبوتاسيوم والصوديوم أو الكالسيوم، وأيضاً الباريوم والسيزيوم.... الخ، أما "Y" تمثل أساساً بالألومنيوم أو الماغنسيوم أو الحديد، وأيضاً المنجنيز أو الليثيوم أو التيتانيوم.... الخ و تمثل "Z" أساساً بالسيليكون والألومنيوم. تمثل مجموعة الميكا بمعادن سيليكات الألومنيوم المائية المعقدة ذات البنية الصفائحية ٢: ١ (T-O-T) التي تتكون من نوعين من الطبقات: طبقتين رباعية الأوجه Tetrahedral sheet متماثلتين تحصر فيما بينها طبقة من ثمانيات الأوجه. تتكون الطبقات رباعية الأوجه بدورها من X_2O_5 (حيث X تتمثل بالحديد الثلاثي والألومنيوم والسيليكون، ونادراً ما تتمثل بالبريليوم). وترتبط رباعيات الأوجه بعضها ببعض بثلاث أركان لتكون طبقات ذات بعدين ممتدين مكونة حلقات سداسية التماثل (انظر شكل ٦-١)، يكون الركن الرابع من رباعيات الأوجه ركن من الوحدات ثمانية التناسق. تحتوى أصغر وحدة تركيبية على ثلاث من ثمانيات الأوجه. كل منهم يحتوى على كاتيون

عند المركز، هذه الكاتيونات تمثل بالحديد الثنائي والثلاثي والألومنيوم والماغنسيوم.

تصنف مجموعة معادن الميكا بناءً على شحنة الصفائح إلى مجموعتين:

(١) مجموعة الميكا الحقيقية المرنة والقابلة للانثناء وفيها شحنة الصفائح تساوي (١-) وهذه تتعادل بدخول كاتيونات أحادية بين الصفائح مثل البوتاسيوم والصوديوم ونادراً السيزيوم والروبيديوم. (٢) مجموعة الميكا الهشة غير المرنة وفيها الشحنة تساوي (٢-) وهذه تتعادل بوجود كاتيونات ثنائية التكافؤ بين الطبقات مثل الكالسيوم والباريوم ونادراً الإسترونشيوم. تنشأ هذه الشحنات نتيجة أحد الأسباب الآتية: ١- إحلال عناصر ثنائية أو ثلاثية كالحديد الثلاثي والألومنيوم محل عناصر رباعية كالسيليكون في رباعيات الأوجه؛ ٢- إحلال عناصر أحادية أو ثنائية محل العناصر الثنائية أو الثلاثية في ثمانية الأوجه؛ ٣- وجود مواقع فارغة في ثمانية الأوجه و٤- نزع الهيدروجين من مجموعات الهيدروكسيل وتحولها إلى أنيون الأكسجين.

تنقسم كل من هاتين المجموعتين إلى تحت مجموعات. فإذا شغلت كل مواقع "Y" ثلاثي ثمانية الأوجه (باحتمائها على Mg_6) تسمى تحت مجموعة ثلاثي الثماني، وفي هذا الوضع يحدث تداخل أو تناسق هندسي جيد بين رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه. عند ذلك تحتفظ طبقة رباعيات الأوجه بالشكل السداسي لحلقاتها وفي مركزها توجد ذرة الأكسجين الطرفية. أما إذا شغل اثنين من مواقع "Y" ثلاثي ثماني الأوجه بـ Al_4 والثالث فارغ تسمى تحت مجموعة ثنائي الثماني (بيلي ١٩٩١ "ب" Baily). وفي هذا الوضع يحدث تداخل غير متناسق Misfit بين رباعيات وثمانيات الأوجه، يصاحب ذلك تشوه جانبي وتحيد ذرة الأكسجين الطرفية عن المركز (شكل ٦-٩). تكون الميكا في كل تحت مجموعة متسلسلة محاليل صلبة غير كاملة من الأشكال المتشابهة تتفاوت في مداها باختلاف الأطراف.

من هنا فإن مجموعة الميكا تضم المعادن التي تتركب كيميائياً من سيليكات الألومنيوم المعقدة مع البوتاسيوم والهيدروكسيل وكذلك الماغنسيوم والحديد الثنائي، وفي بعض الأنواع يوجد الصوديوم والليثيوم والحديد الثلاثي، وفي حالات قليلة يوجد المنجنيز والكروميوم والباريوم والفلورين والتيتانيوم بكميات ضئيلة (حلمي ١٩٩٤).

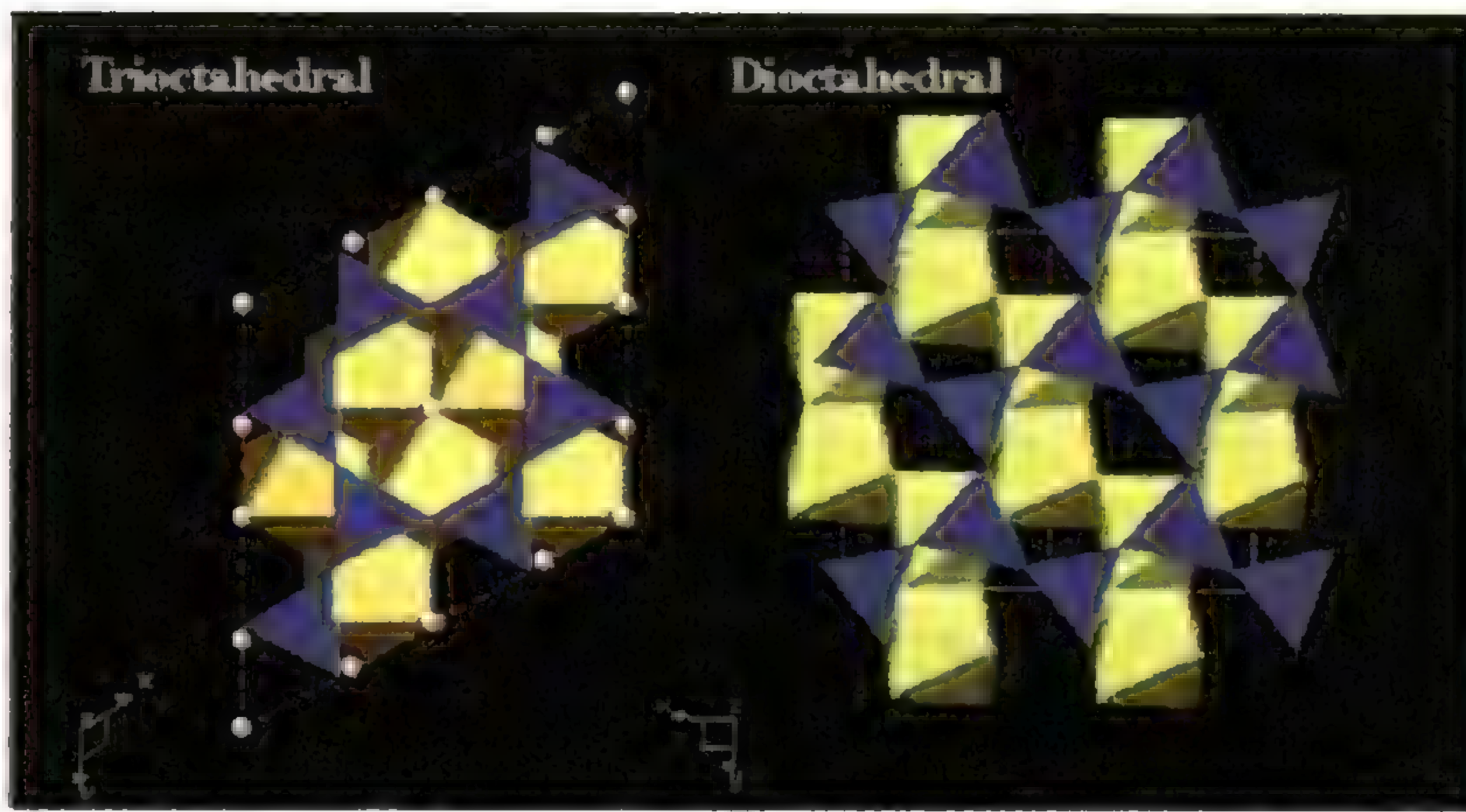
تتبلور معادن الميكا في فصيلة الميل الواحد، ولو أن البلورات لا تبين مثل هذا التماثل البلوري، ويرجع ذلك إلى أن المحور "a" يميل بزاوية تقترب من 90° على المحور "C" (زاوية β). البلورات عادة مسطحة ذات مسطوح قاعدي واضح ولها مظهر سداسي ذو زوايا مقدارها 60° و 120° تقريباً وعلى ذلك تظهر البلورات دائماً إما في أشكال معينة قائمة أو سداسية التماثل (تماثل كاذب). وتتميز معادن الميكا جميعها بانقسام قاعدي كامل {001}.

لمعادن الميكا خصائص بصرية مميزة فجميعها سالبة وغالبية المعادن ثنائية المحور لها زاوية بصرية ($2V$) متوسطة في المعادن ثنائية الثمانية وصغيرة في المعادن ثلاثية الثمانية. قرينة الانكسار ضعيفة في القطاعات الموازية للانقسام القاعدي وقوية في القطاعات العمودية. التغير اللوني قوى في المعادن الملونة وأعلى امتصاص للون في اتجاهات الذبذبة الموازية للانقسام القاعدي.

ترجع أهمية مجموعة الميكا إلى أنها تشمل مجموعة من المعادن الأساسية المكونة للصخور بالإضافة إلى تطبيقاتها في الصناعة. فمعادن الميكا تمتاز بأنها غير قابلة للتفاعلات الكيميائية وتحمل درجات الحرارة العالية. ميكانيكياً، الميكا مرنة وذات خاصية بلاستيكية تميزها عن باقي معادن السيليكات الصفائحية. تجعل البنية الصفائحية الميكا سهلة الانفصال إلى رقائق شفافة ولدنة. كما أن للميكا خصائص كهربائية مميزة منها المقاومة العالية للكهرباء (شيمان ١٩٨٣ Chapman وتينر ١٩٩٤ Tanner).

تستخدم الميكا في صورتين (١) الميكا الصفائحية، وتعتمد مدى أهميتها على درجة نقاوتها وشفافيتها وسمكها والمساحة الممكنة للصفحة ، لا يمكن

تحسين أى من هذه الخصائص بطرق الفصل والتركيز المختلفة. وعادةً تستعمل الميكا الصفائحية في الأجهزة الكهربائية كعازل للكهرباء والحرارة، وتعتمد الأهمية الاقتصادية للصفائح على مساحة السطح، (٢) الميكا المطحونة والتي يمكن تجهيزها بطرق الفصل الجافة والرطبة (بينبو وأخرون ١٩٨٥ Benbow et al. وشيمان ١٩٨٤ Chapman). وتستعمل الميكا المطحونة كمادة مالئة في الصناعات المختلفة.



شكل ٦-٩: تداخل جيد متناسق Good fit بين رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه في البناء ثلاثي الثماني Trioctahedral وتداخل غير متناسق Misfit في البناء ثنائي الثماني Dioctahedral

بلغ إنتاج العالم من الميكا في التسعينات من القرن الماضي ما بين ٠,٢١ - ٠,٢٥ مليون طن كل عام. شكلت الميكا الصفائحية خمس هذه الكمية. تنتج الهند ٨٠% من إنتاج العالم من الميكا الصفائحية. بينما تنتج الولايات المتحدة ٥٥% من إنتاج العالم من الميكا المطحونة (هيدريك ١٩٩٥ Hedrick).

سنعرض في الجزء التالي أهم معادن الميكا، وتشمل تحت مجموعة ثنائي الثماني (المسكوفيت والجلوكونيت والمارجريت) وتحت مجموعة ثلاثي الثماني (البيوتيت والليبيدوليت والفلوجوبيت).

تحت مجموعة ثنائي الثماني Dioctahedral

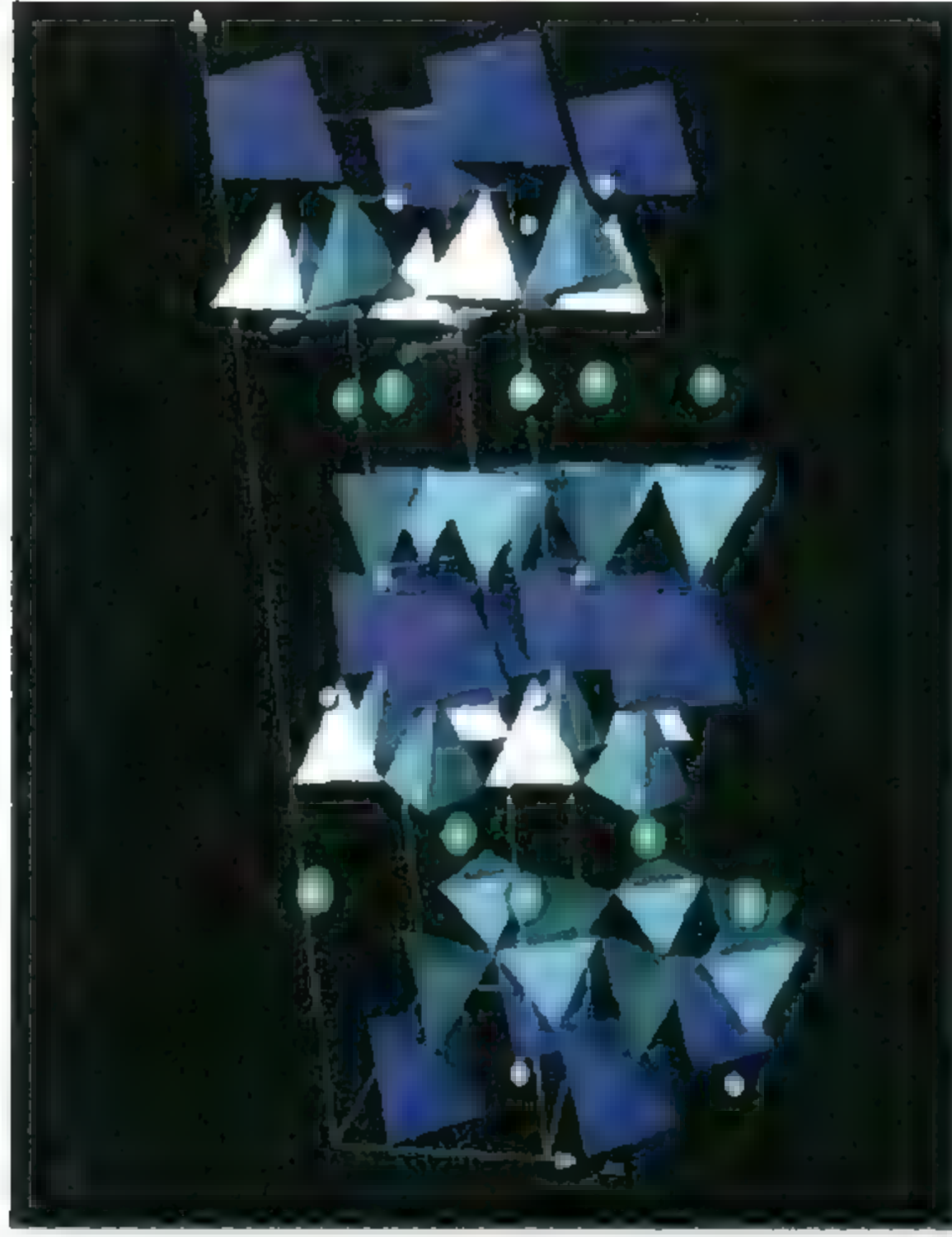
المسكوفيت $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ Muscovite

أُشتق اسم المسكوفيت من الاسم المعروف به المعدن وهو الزجاج المسكوفي Muscovy-glass حيث كان يستخدم بديلاً للزجاج في الاتحاد السوفيتي السابق. وسمي المعدن من العاصمة الروسية موسكو Moscow. يعرف المسكوفيت أيضاً باسم الميكا البيضاء أو الميكا البوتاسية، وهو أحد معادن الميكا الأكثر إنتشاراً. يعتبر المسكوفيت والفلوجوبيت أهم معادن الميكا الصناعية وذلك لأنهما أقل المعادن إحتواءً علي الحديد. وافتحها لوناً وأكثرها شفافية. من المعروف أن هذه المعادن تمتاز بأنها غير موصلة للحرارة أو للكهرباء، بالإضافة إلي الانفصام الجيد الذي يجعل المعدن يتواجد في هيئة صفائح ذات عزم ميكانيكي عالي. تعتمد القيمة الإقتصادية للمسكوفيت على مساحة صفائحه وخلو بناؤه البلوري من المكتنفات مثل أكسيد الحديد.

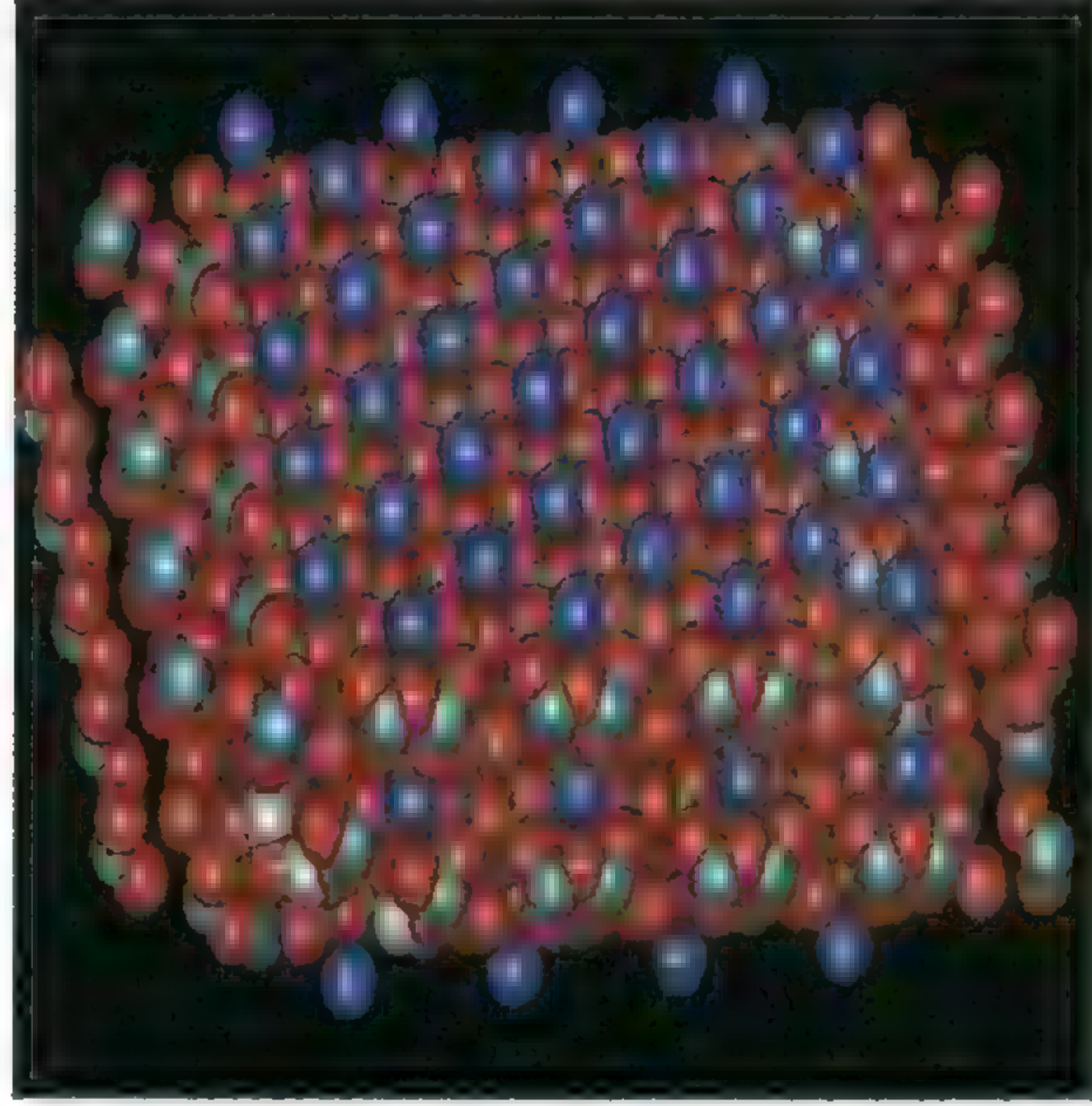
البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/c$. تبلغ أبعاد خلية الوحدة $a=0.519$ ، $b=0.904$ ، $c=2.008$ أنجستروم وتبلغ نسب هذه الأبعاد أ:ب:ج = $0.574:1:2.221$ وزاوية $(\beta) = 95.5^\circ$ وتحتوي خلية الوحدة على أربع ذرات $(Z)=4$. يتميز المعدن بإنفصامه القاعدي الكامل $\{001\}$ الذي يؤدي إلى فصل المعدن إلى صفائح رقيقة مرنة. يمتاز المعدن بالانعكاسات القوية للأشعة السينية عند المسافات البينية (d-spacing) 2.18 ، 2.45 ، 2.66 ، 3.37 ، 9.95 أنجستروم.

تم عرض الخصائص العامة للبنية البلورية لمعادن الميكا في الصفحات السابقة. والبناء البلوري للمسكوفيت ذو طبيعة ثنائية الثمانية، يشغل فيه الألومنيوم ربع مواقع رباعيات الأوجه ويشغل السيليكون الثلث أرباع الأخرى. كما يحتل الألومنيوم مواقع ثمانية الأوجه. يتخذ البوتاسيوم جميع المواقع ذات عدد التناسق ١٢ بين الصفائح المركبة للمعدن (شكل ٦-١٠).



ترتبط الصفائح المركبة بأيونات البوتاسيوم (الكرات الخضراء) ، ثمانية الأوجه (الأزرق) ورباعيات الأوجه (الأخضر)



تركيب صفائح المسكوفيت وإمتدادها في الثلاث أبعاد. لاحظ تكرار طبقة من ذرات البوتاسيوم (بنفسجي) كل ثلاث طبقات (طبقتين من رباعيات الأوجه بينهم طبقة من ثمانية الأوجه)

شكل ٦-١٠: البناء الصفائحي للمسكوفيت في الثلاث أبعاد

كيمائية المعدن

يتكون المسكوفيت من سيليكات البوتاسيوم والألومنيوم المائية وتتمثل الصيغة الكيميائية في $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$. يوضح الجدول (٦-٤) التحاليل الكيميائية لبعض النماذج من معدن المسكوفيت. قد يحدث استبدال لكل من البوتاسيوم والسيليكا والألومنيوم بعناصر أخرى لتكوين أنواع متشابهة شكلاً للمسكوفيت. فقد يستبدل البوتاسيوم بكل من الباريوم والكالسيوم والسيزيوم والروبيديوم والصوديوم ويستبدل الألومنيوم الموجود في ثمانية الأوجه بكل من الفانديوم والتيتانيوم والكروميوم والليثيوم والمنجنيز والحديد الثنائي والثلاثي والماغنسيوم. كما تستبدل مجموعة الهيدروكسيل بالفلورين.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن شفاف عديم اللون في الصفائح الرقيقة، أما الصفائح السمكية فهي نصف شفافة وتبدو ذات ظلال باهتة من الألوان الصفراء أو الخضراء أو

جدول ٤-٦: نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن المسكوفيت

الأكسيد	١	٢	٣	٤
SiO ₂	٤٢,٩٧	٤٨,٤٢	٤٦,٤٧	٤٦,٩٣
Al ₂ O ₃	٣٧,٤٠	٢٧,١٦	٣٣,٢٠	٢٩,٦٥
K ₂ O	٩,٢٤	١١,٢٣	١٠,٣١	١٠,٤٠
Na ₂ O	١,٣٥	٠,٣٥	٠,٥٥٨	٠,١٩
Fe ₂ O ₃	١,٠٣	٦,٥٧	-	-
FeO	٠,٢١	٠,٨١	٣,٦٨٦	٤,٧٤
MgO	٠,٤٨	-	٠,٣٦٣	١,٤٧
CaO	١,٢٤	-	-	-
TiO ₂	٠,١٧	٠,٨٧	٠,٢٨	٢,١٣
F	-	ضئيل	-	-
H ₂ O ⁺	٥,٨١	٤,٣١	-	-
H ₂ O ⁻	٠,١٥	٠,١٩	-	-
المجموع	١٠٠,٢٧	٩٩,٩١	٩٤,٨٨	٩٥,٥٣

١- مسكوفيت - بيجماتيت، منطقة حفافيت (الشاذلي وآخرون ١٩٧٥)

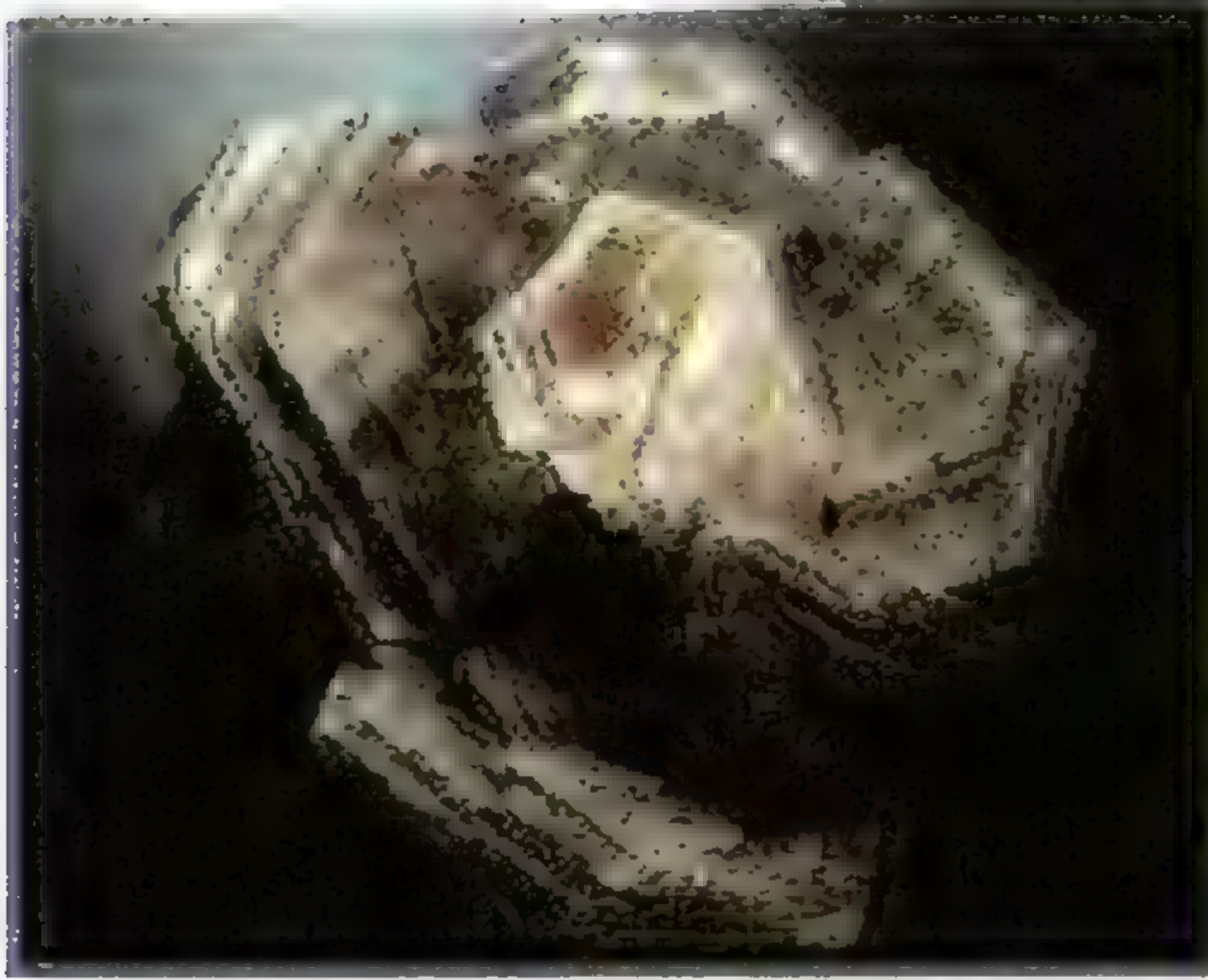
٢- مسكوفيت من شيبست - Inverness-shire (شانج ٢٠٠١)

٣- مسكوفيت من صخور النيس بوادي جيثوا السعودية (الفيلالي وعبد النبي ٢٠٠٣)

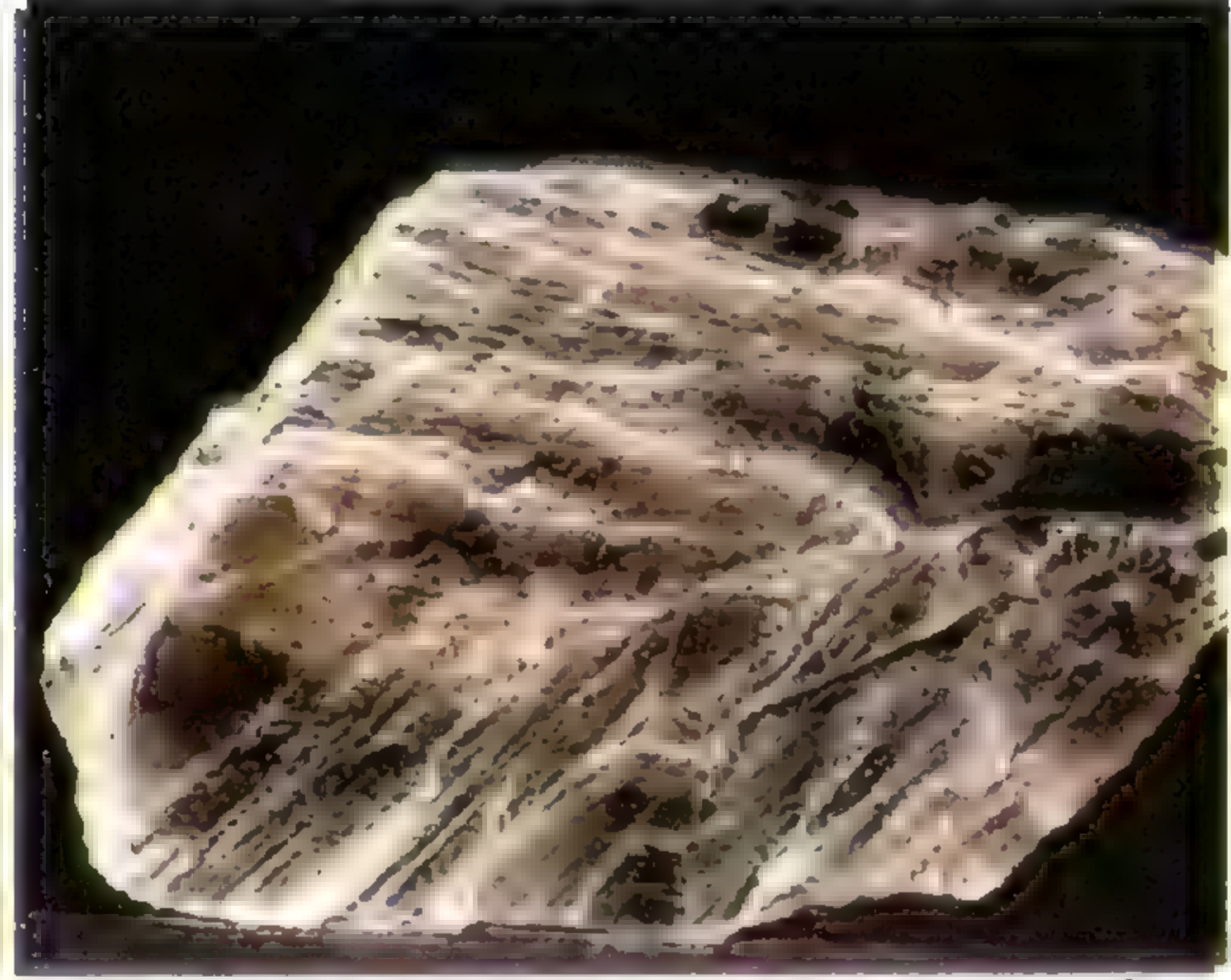
٤- مسكوفيت من صخور النيس في وادي حيمور أبو سويل (عبد النبي وفريش ٢٠٠٢)

الحمراء. البريق زجاجي أو حريري أو لؤلؤي والمخدش أبيض. صلادة المعدن = ٢-٢,٥. الإنقسام قاعدي موازي للمستوى {001} والوزن النوعي = ٢,٧٦ - ٣,١٠. يوجد المعدن في هيئة صفائح كبيرة أو صغيرة أو في طاولات سداسية (شكل ٦-١١) أو في هيئة قشور قد تكون متجمعة في هيئة ريشية أو كروية لكن نادراً ما توجد بلورات واضحة. المعدن ثنائي المحور سالب ومعاملات انكساره تتراوح بين ألفا $(\alpha) = 1,560 - 1,572$ وبيتا $(\beta) = 1,593 - 1,611$ وجاما $(\gamma) = 1,599 - 1,615$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,036 - 0,049$ والزاوية البصرية $(2V) = 30 - 47^\circ$. يتميز المعدن

عن الفلوجوبيت بكونه لا يتحلل بحامض الكبريتيك وعن معدن الليبيدوليت بكونه لا يعطي لون قرمزي للهب بنزن.



(ب) مسكوفيت على شكل طاوولات سداسية



(أ): صفائح من المسكوفيت على شكل كتاب

شكل ٦-١١: الهيئة البلورية للمسكوفيت (<http://mineral.galleries.com>)

التواجدات والصحية المعدنية

المسكوفيت معدن واسع الانتشار وشائع ضمن المعادن المكونة للصخور. ويوجد بصفة مميزة في الصخور النارية الحامضية الجوفية مثل الجرانيت والجرانيت البيجماتي. يصاحب المسكوفيت معادن الكوارتز والفلسبار والتورمالين والبيريل والفلوريت في صخور البيجماتيت وقد يتواجد في بلورات كبيرة تشبه الكتاب، قد تصل إلى عدة أقدام في أبعادها. يوجد المسكوفيت في مواقع عديدة بجبال الألب، وتوجد أهم وأكبر خامات المسكوفيت في روسيا والهند وقد وُجدت بلورات تصل أبعادها من ٧ إلى ٩ أقدام في أحد المناجم بأونتاريو بكندا. تنتج الولايات المتحدة الأمريكية كميات قليلة من الميكا الصفائحية ولكنها أكبر منتج للمسكوفيت المطحون. يوجد المسكوفيت أيضاً في الصخور المتحولة، ويعتبر المكون الأساسي لبعض صخور الشيست الميكائي. كما يوجد في بعض صخور الشيست في هيئة تجمعات ليفية من قشور دقيقة ويعرف عندئذ بالسريسيت. يوجد في المملكة العربية السعودية في منطقة السوداء بأبها وجنوب وادي قديد ووادي

الحمض. ويوجد في مصر في عدة أماكن بالصحراء الشرقية منها حفافيت ووادي حيمور.

الاستخدامات

يعتبر المسكوفيت من المعادن الصناعية الهامة. أول استخدام عرف للمسكوفيت كان في صناعة الزجاج المسكوفي في الإتحاد السوفيتي السابق وذلك يرجع إلى خاصية الانقسام القاعدي وإمكانية فصله إلى صفائح رقيقة شفافة. كما أن صفائح المسكوفيت تمتاز بمقاومتها للحرارة والازدواج الكهربائي Dielectric مما يجعلها تستعمل في الأجهزة الكهربائية. واستعمل المعدن قديماً في صناعة أبواب الأفران واستبدل لاحقاً بالمواد الحرارية. يدخل المسكوفيت المطحون في صناعة ورق الحائط لكي يكسبه البريق اللامع وكذلك في مواد التجميل وكمادة مالئة وملينة في الزيوت (كلن وهيرلبوت ١٩٩٣ Klein and Hurlbut وببير ٢٠٠١ Pepper).

الجلوكونيت Glauconite



يعتبر الجلوكونيت معدن الميكا الوحيد الذي يتكون في الرواسب البحرية خاصة في الرمال الخضراء وعادة يتكون في هيئة تجمعات من الكرات المستديرة ودقيقة الحجم. لبعض الإعتبارات، يعتبر الجلوكونيت من المعادن الطينية. لكن سيتم عرض وصف الجلوكونيت هنا كمعدن من معادن الميكا.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$ وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a=5.23$ و $b=9.06$ و $c=10.15$ أنجستروم وزاوية $(\beta)=101^\circ$ وتحتوي خلية الوحدة على ذرة واحدة $(Z)=1$. وبشكل عام لا تتوافر البلورات الجيدة للجلوكونيت. بالرغم من أن

الجلوكونيت ينتمي إلى الميكا ذات الطبيعة ثنائي الثماني الأوجه، فهو يختلف عن المسكوفيت في إحتوائه علي قدر يأخذ في الإعتبار من الكاتيونات ثنائية التكافؤ في الموقع "Y". يماثل البناء البلوري للجلوكونيت البناء البلوري للبيوتيت.

كيمائية المعدن

معدن الجلوكونيت هو سيليكات مائية للبوتاسيوم والحديد والماغنسيوم والألومنيوم ويشبه البيوتيت في تركيبه الكيميائي. يبين جدول (٥-٦) أمثلة من التحليل الكيميائي لمعدن الجلوكونيت من الحجر الرملي. يتضح من

جدول ٥-٦: أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن الجلوكونيت.

الاكسيد	نيوزلندا	مصر
SiO ₂	٤٩,٢٩	٥١,٥٢
TiO ₂	٠,١٢	-
Al ₂ O ₃	٣,١٧	٥,١٩
Fe ₂ O ₃	٢١,٧٢	٢٣,٤٠ {
FeO	٣,١٩	
MnO	شحيح	-
MgO	٠,٧٤	٤,٥٣
CaO	٣,٨٥	٠,٠٥
Na ₂ O	٠,١٢	٠,٢٦
K ₂ O	٦,٠٢	٧,٧٧
P ₂ O ₅	٠,٣٢	-
Cl	-	٠,١٧
F	-	-
H ₂ O	٧,٢١	-
H ₂ O	٤,٦٠	-
المجموع	١٠٠,٣٥	٩٢,٨٩

١- جلوكونيت من حجر رملي بأوتاجو - نيوزلندا (هوتون وسيلاي ١٩٤١ Hutton and Seelye)

٢- جلوكونيت من الرمال الخضراء - منجم الجديدة - الواحات البحرية - مصر (مساعد وسرور ٢٠٠٠ MESAED and SUROUR)

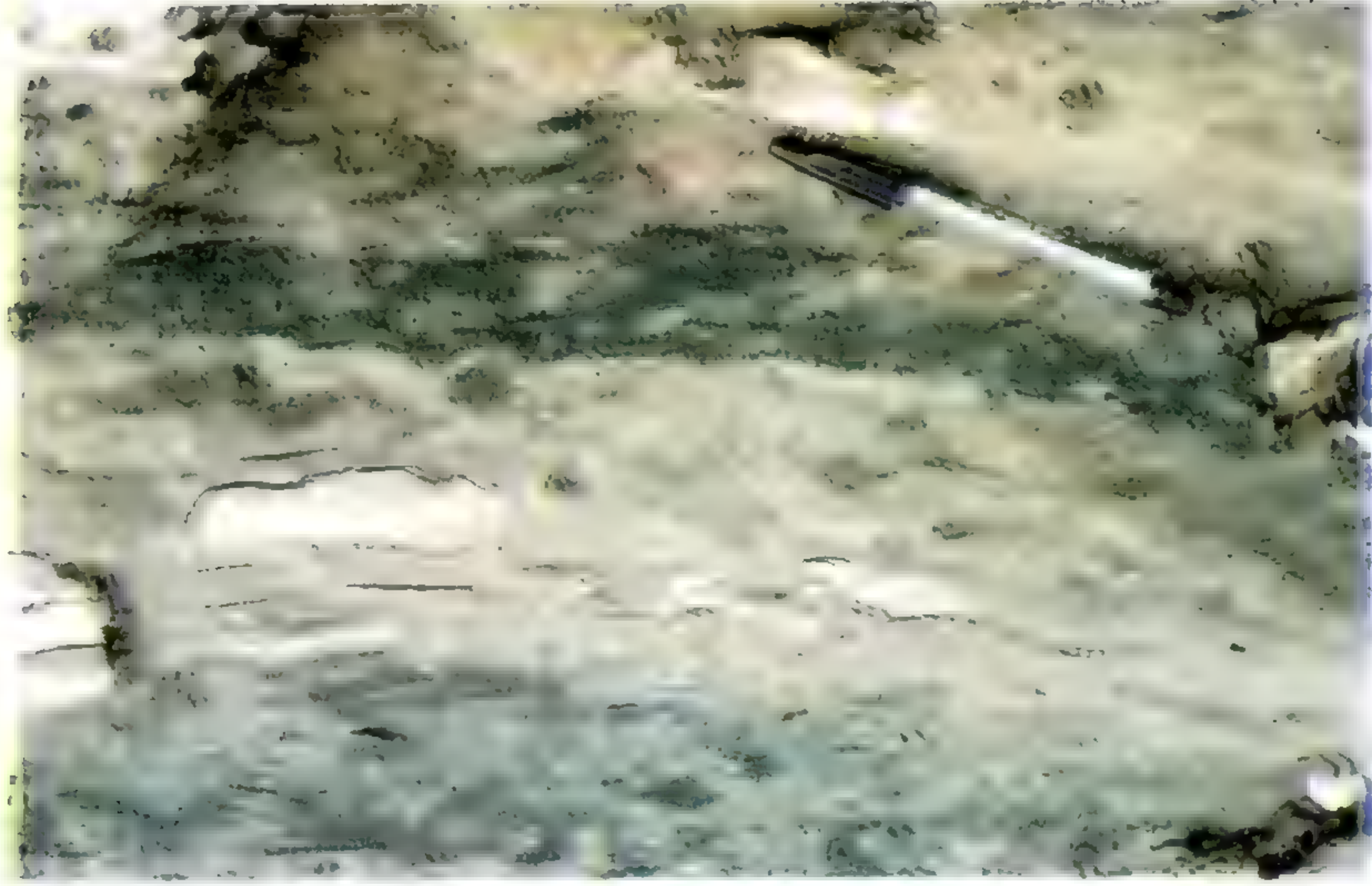
الصيغة الكيميائية للمعدن، أن عدد كاتيونات موقع "Y" يقترب من ٤ بينما عدد الكاتيونات التي تحتل الموقع "X" بين الطبقات المركبة أقل من ٢ وفي نفس الوقت أكثر من عدد كاتيونات الألومنيوم في رباعيات الأوجه (موقع Z). الزيادة في أيونات "X" تتعادل في الجلوكونيت بدخول كاتيونات ثنائية التكافؤ بدلاً من ثلاثية في الموقع "Y". كما أن عدد أيونات الحديد الثلاثي أكثر من الألومنيوم في الموقع "Y".

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتخذ المعدن اللون الأخضر أو الأخضر المصفر أو الأخضر المزرق ويوجد المعدن عادةً في صورة كرات خضراء Green pellets (شكل ٦-١٢). بريق المعدن ترابي وهو نصف شفاف، ذو لون أخضر أو أخضر مصفر في القطاعات الرقيقة ومخدش الجلوكونيت أخضر. الصلادة = ٢ والمعدن ذو إنقسام قاعدي كامل موازي للمستوى {001}. يتراوح الوزن النوعي ما بين ٢,٤٠-٢,٩٥. المعدن ثنائي المحور سالب وتتراوح معاملات انكساره بين ألفا $(\alpha) = 1,592 - 1,610$ وبيتا $(\beta) = 1,610$ جاما $(\gamma) = 1,614 - 1,641$ ، وتزداد معاملات الانكسار ودرجة اللون بزيادة نسبة الحديد الثلاثي. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,014 - 0,030$ والزاوية البصرية $(2V) = 20^\circ - 0^\circ$. يمتاز الجلوكونيت بالتغير اللوني من اللون الأخضر أو الأخضر مصفر إلى الأخضر المزرق أو الأخضر المصفر الغامق. يشبه الجلوكونيت معدن الكلوريت من حيث اللون ولكن الكلوريت يمتاز بانخفاض قرينة الانكسار.

التواجدات والصحة المعدنية

من المسلم به أن معدن الجلوكونيت يتكون من أنواع مختلفة من المواد بواسطة عمليات تحويلية تحدث في البيئة البحرية الضحلة. يتضح من محتوى المعدن من الحديد الثنائي والثلاثي أن الجلوكونيت يتكون في بيئة إختزال تحدث أساساً بفعل البكتيريا التي تعمل على إختزال الكبريتات. كما يتكون بعض الجلوكونيت بتجميع الحبيبات الغروية المعلقة Coagulation of



شكل ٦-١٢: رمل جلوكونيتي متواجد في تكوينات للطين في إنجلترا

Glaucónitic sand in the basal London Clay, Whitecliff, L.O.W.

<http://www.soton.ac.uk/~imw/jpg/2WLondon-glauc.jpg>

suspended colloidal particles في ماء البحر. لهذا السبب يتواجد المعدن عادة في صورة كرات خضراء في الصخور الرسوبية البحرية. فيوجد في الحجر الجيري غير النقي أو الحجر الرملي أو الحجر الغريني Siltstones. وتحتوي الرمال الخضراء على نسبة كبيرة من كرات الجلوكونيت. يوجد المعدن بكميات وفيرة في مصر وخاصة في الواحات البحرية ويسمى طفلة الجلوكونيت والتي تتمثل بالغطاء الصخري لخامات الحديد.

الاستخدامات

يستعمل الجلوكونيت كمعدن طيني أكثر من كونه ميكائي، لذلك فهو يستعمل في صناعة الحراريات أو في سوائل حفر الآبار.

المارجريت Margarite



سمى المعدن بهذا الاسم نسبةً إلى بريقه اللؤلؤي. يمتاز المارجريت بأن صفائه هشة قابله للكسر لذلك يسمي بالميك القسمة Brittle mica، ويشبه معدن الفلوجوبييت إلا أنه يحتوي على الكالسيوم.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/c$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 0,10$ ، $b = 0,83$ ، $c = 0,19$ أنجستروم ونسبة هذه الأبعاد لبعضها هي $a:b:c = 1:0,575:0,186$. تحتوى خلية الوحدة على أربع ذرات $(Z=4)$ ويتواجد عادة في صورة تجمعات قشرية ذات هيئة صفائحية ونادراً في هيئة بلورية واضحة.

يعتبر المعدن من معادن الميكا ذات البناء ثنائي الثماني المماثل لبناء المسكوفيت، إلا أن الكالسيوم يمثل نوع الكاتيونات المتواجدة بين الصفائح Interlayer cations وذلك بدلاً من البوتاسيوم في المسكوفيت وغالبية معادن الميكا. هذا الاستبدال يزيد من شحنة الطبقات، ولكي تتعادل الشحنات يدخل مزيد من الألومنيوم ليحل محل السيليكا في رباعيات الأوجه ويصبح تركيبها $(Al_2Si_2O_{10})$ بدلاً من $(AlSi_3O_{10})$. يزيد وجود الكاتيونات ثنائية التكافؤ من قوة الروابط بين الطبقات مما يتسبب في الطبيعة الصلبة نسبياً للمعدن. يعطى المعدن انعكاسات للأشعة السينية عند مسافات d-spacing تساوى ٤,٤٠ ، ٣,٣٩ ، ٣,٢٠ ، ٢,٥١ ، ٢,٤٢ أنجستروم.

كيمائية المعدن

يتكون المارجريت من سيليكات الكالسيوم والألومنيوم المائية $CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$ حيث يحتوى المعدن على ١٤,٠ % CaO ، ٥١,٣ % Al_2O_3 ، ٣٠,٢ % SiO_2 ، ٤,٥ % H_2O . قد يحدث إحلال لكمية بسيطة من الكالسيوم بالصوديوم وعندئذ تزداد الشحنة السالبة للطبقات وتتعاقد إما بإحلال أنيونات الأكسجين O^{2-} بالهيدروكسيل OH^- أو بزيادة أيون السيلكون Si^{4+} . يذوب المعدن جزئياً ويبطئ بحامض الهيدروكلوريك المغلي.

الصفات الفيزيائية والبصرية

يأخذ المعدن لون بنفسجي أو أبيض أو رمادي أو أصفر باهت أو أخضر باهت والبريق زجاجي إلى لؤلؤي (شكل ٦-١٣). المعدن نصف شفاف

وعديم اللون في القطاعات الرقيقة. صلادة المارجريت أعلى من الميكا وتتراوح من ٣,٥ - ٥. الإنقسام قاعدى موازى للمستوى {001} وصفائح المارجريت صلبة قابله للكسر. الوزن النوعي ٣,٠ - ٣,١. المعدن ثنائى المحور سالب وتتراوح معاملات الانكسار ما بين ألفا $\alpha = 1,632 - 1,638$ وبيتا $\beta = 1,643 - 1,648$ وجاما $\gamma = 1,645 - 1,650$. تبلغ قرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,014 - 0,01$ والزاوية البصرية $2V = 40^\circ - 67^\circ$. تقل معاملات الانكسار والزاوية البصرية للمعدن كلما زادت نسبة إحلال الصوديوم للكالسيوم (دير وآخرون ١٩٩٢).



شكل ٦-١٣: بلورات صفراء ليفية من المارجريت من منجم قديم للتنجستن بولاية كونكتيكت الأمريكية. Long Hill/Old Tungsten Mine in Trumbull, <http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=247>

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد المعدن عادة في رواسب الأميرى Emery deposits مصاحباً للكوراندوم Al_2O_3 , Corundum والدياسبور $AlO(OH)$, Diaspore ويبدو أنه من نواتج التجوية لتلك المعادن. يوجد المارجريت في الولايات المتحدة مصاحباً لرواسب الكوراندوم في كارولينا الشمالية ومصاحباً للأميرى في

بنسلفانيا. يوجد المعدن أيضاً مصاحباً للتورمالين والشتروليت في صخور الشيست الكلوريتي والشيست الميكائي.

الاستخدامات

يستخدم كمادة مالئة في بعض الصناعات.

تحت مجموعة ثلاثي الثماني Trioctahedral

البيوتيت Biotite



ترجع تسمية معدن البيوتيت إلى عام ١٨٤٧ نسبة للعالم الفيزيائي الفرنسي جين بابتيست بيوت J.B. Biot, ١٨٦٢-١٧٧٤ الذي درس الخصائص البصرية لمعادن الميكا. كما يطلق عليه اسم ليبيدوميلان Lepidomelane، وإذا احتوى علي المنجنيز يسمى بالمنجانوفيلليت Manganophyllite. ولكن البيوتيت هو الاسم المشهور به المعدن.

يسمى المعدن بناءً علي نسبة الماغنسيوم إلي الحديد فإذا كانت نسبة الماغنسيوم ١ الحديد > ٢ يسمى المعدن بيوتيت أما إذا كانت < ٢ يطلق علي المعدن اسم الفلوجوبيت. وهناك سلسلة محاليل صلبة بين البيوتيت والفلوجوبيت وكلما زادت نسبة الحديد في المعدن كلما اغمق لونه وقلت أهميته الاقتصادية لذا تسمى بالميكا السوداء أو ميكا الحديد أو خام الحديد الميكائي.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C2/m. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ= ٥,٣١ وب= ٩,٢٣ وج= ١٠,١٨ أنجستروم ونسبة هذه الأبعاد لبعضها هي أ:ب:ج= ١:٠,٥٧٥: ١,١٠٣. مقدار زاوية بيتا (β)= ٩٩,١٨° وتحتوي خلية الوحدة على ذرتين (Z)= ٢. تنتمي البنية البلورية للبيوتيت إلي الميكا من نوع ثلاثي الثماني. البلورات

مسطحة أو منشورية قصيرة ذات مسطوح قاعدي واضح. البلورات نادرة ولكن يغلب وجود المعدن في هيئة كتل صفائحية غير منتظمة (شكل ٦-١٤). كذلك يوجد المعدن في هيئة قشور منتشرة في الصخر أو متجمعة في هيئة مجموعات قشرية. يمتاز المعدن بالنتؤات القوية للأشعة السينية عند (d-spacing) ١٠,١ ، ٣,٣٧ ، ٢,٦٦ ، ٢,٥٤ ، ٢,١٨ أنجستروم.

كيميائية المعدن

يتكون التركيب الكيميائي للمعدن من سيليكات البوتاسيوم والماغنسيوم والحديد والألومنيوم والهيدروكسيل، $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ ، ولكن قد يحدث أن يحل الفلورين محل الهيدروكسيل ويحل الحديد الثلاثي والألومنيوم محل الماغنسيوم ويحل الألومنيوم محل السيليكون. بالإضافة إلى إحلال كل من الصوديوم والكالسيوم والباريوم والروبيديوم والسيزيوم محل البوتاسيوم. يشبه التركيب الكيميائي للبيوتيت التركيب الكيميائي للفلوجوبيت وهناك سلسلة كاملة من المحاليل الصلبة بين المعدنين. في البيوتيت يدخل الحديد محل جزء من الماغنسيوم كما يدخل الألومنيوم بعدد أكثر في المواقع رباعية الأوجه وثمانية الأوجه. يتحلل البيوتيت بوضعه في حامض الكبريتيك المركز الساخن ويعطي محلول أبيض اللون مثل لون اللبن. ينتج البيوتيت ماء عند تسخينه في أنبوبة مغلقة. يوضح جدول (٦-٦) أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن البيوتيت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

لون المعدن أخضر داكن أو بني إلى أسود وقد يكون أصفراً باهتاً في بعض الحالات النادرة أما الصفائح الرقيقة فلونها مدخن (شكل ٦-١٤) وبذلك يسهل تفريقها عن المسكوفيت ذو الرقائق عديمة اللون تقريباً. البريق لامع والمعدن نصف شفاف ويمتاز بخاصية التغير اللوني في القطاعات الرقيقة من الأصفر إلى الأصفر الداكن إلى البني والمخدش رمادي. الصلادة = ٢,٥-٣ والانقسام قاعدي كامل {001} والوزن النوعي = ٢,٨-٣,٢. تتميز صفائح البيوتيت بالمرونة العالية. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ

معاملات انكساره ألفا $(\alpha) = 1,57 - 1,63$ وبيتا $(\beta) = 1,61 - 1,70$ وجاما $(\gamma) = 1,61 - 1,70$ وتبلغ قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,03 - 0,07$ والزاوية البصرية $(2V) = 0 - 25^\circ$. من الخصائص التي تميز معدن البيوتيت عن غيره الإنفصام الميكائي واللون الغامق.

جدول ٦-٦: أمثلة من التحاليل الكيميائية لمعدن البيوتيت.

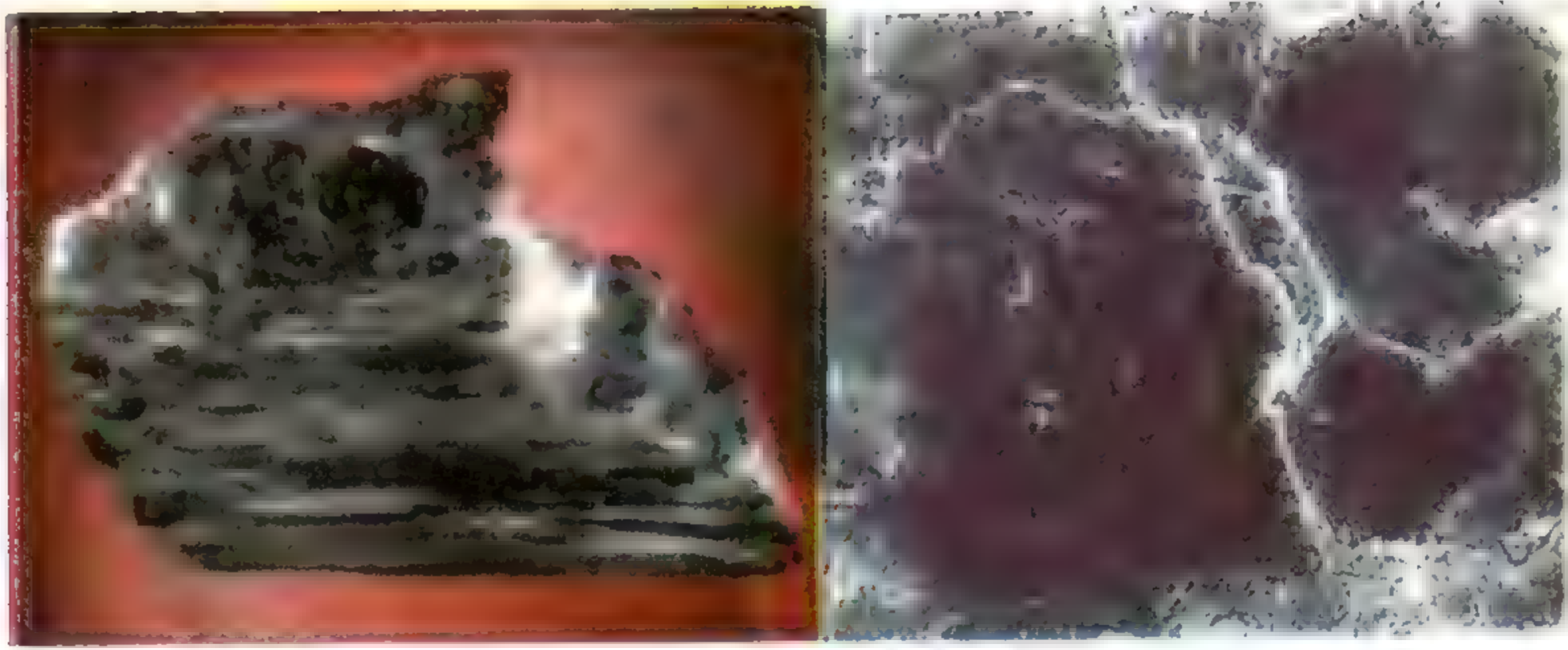
الأوكسيد	١	٢٣	٣
SiO ₂	٣٦,٤٩	٣٦,٦١	٣٥,٧٣
Al ₂ O ₃	١٢,٨٩	١٧,٨٤	١٤,٣٥
Fe ₂ O ₃	٤,٢٦		
FeO	٢٣,٤٨	١٨,٤	٢١,٢٥
MnO	٠,٥٤	٠,٣	٠,٣
MgO	٨,٨٥	١٠,٩٨	١٢,٨٦
CaO	١,٩٤	—	—
K ₂ O	٥,٧١	٩,٧٥	١٠,١٤
Na ₂ O	٠,٩٥	—	٠,١٦
TiO ₂	٣,٩٢	٢,٧١	٢,١
H ₂ O ⁺	١,٦٥	*	*
H ₂ O ⁻	—	*	*
F	—	*	*
الإجمالي	١٠٠,٦٨	٩٦,٦	٩٦,٩٥

* لم يتم قياسها.

١- بيوتيت - جرانيت خشن الحبيبات - أسوان (رجب وآخرون ١٩٧٨ Ragab et al.)

٢- بيوتيت من من صخور النيس بوادي جيثوا السعودية (الفيلالي وعبد النبي ٢٠٠٣)

٣- بيوتيت من صخور النيس بوادي حيمور - أبو سويل (عبد النبي وفريش ٢٠٠٢)



ب

أ

شكل ٦-١٤: أ- رقائق من البيوتيت المدخن، ب- صفائح غير منتظمة من معدن البيوتيت
(عينة من بانكروفت، ولاية اونتاريو، كندا)

التواجدات والصحبة المعدنية

يعتبر معدن البيوتيت من أكثر معادن الميكا إنتشاراً، حيث يدخل في تكوين أنواع مختلفة من الصخور. يوجد البيوتيت في الصخور النارية المتنوعة والغنية بالفلسبارات والتي تتراوح من الجرانيت البيجماتيتي إلى الجرانيت إلى الديوريت إلى الجابرو والبريدوتيت. تصل مساحة بلورات البيوتيت أحياناً في البيجماتيت كما في جرينلاند وإسكاندينافيا إلى حوالي ٧م^٢. عادةً كلما زادت حامضية الصخر الحاوي على البيوتيت تزداد نسبة الحديد الثنائي وتقل نسبة الماغنسيوم فيه. يوجد البيوتيت أيضاً في الطفوح البركانية والصخور البورفيرية مثل الريولايت والداسيت والتراكيت والأنديزيت واللاتيت وبعض صخور البازلت، لكن بدرجة أقل إنتشاراً من الصخور الجوفية، وغالباً ما يتعرض البيوتيت للتجوية ويتغير إلى كلوريت. كذلك يتواجد المعدن عند تحول الصخور البليتية عند حوالي ٤٠٠ درجة مئوية على حساب كل من الكلوريت والفلسبار البوتاسي:



كوارتز مسكوفيت بيوتيت فلسبار بوتاسي كلوريت

يصاحب البيوتيت معادن الأندلوسيت والكورديزيت في درجة التحول المنخفض، وتقل نسبة البيوتيت مع التحول التماسي عالي الدرجة. يوجد المعدن أيضاً في الصخور المتحولة إقليمياً والمتكونة في مدي واسع من الحرارة والضغط خاصة صخور الشيست والنيس في نطاقات البيوتيت

(البيوتيت-كلوريت، البيوتيت-مسكوفيت) والجارنت كما يتواجد في نطاقات الشتروليت والكيانيت والسيليمانيت.

الاستخدامات

استخدامات البيوتيت محدودة بسبب لونه الداكن ومحتواه العالي من الحديد. لكن عادة يستخدم كعازل للحرارة في الأغراض الصناعية المختلفة.

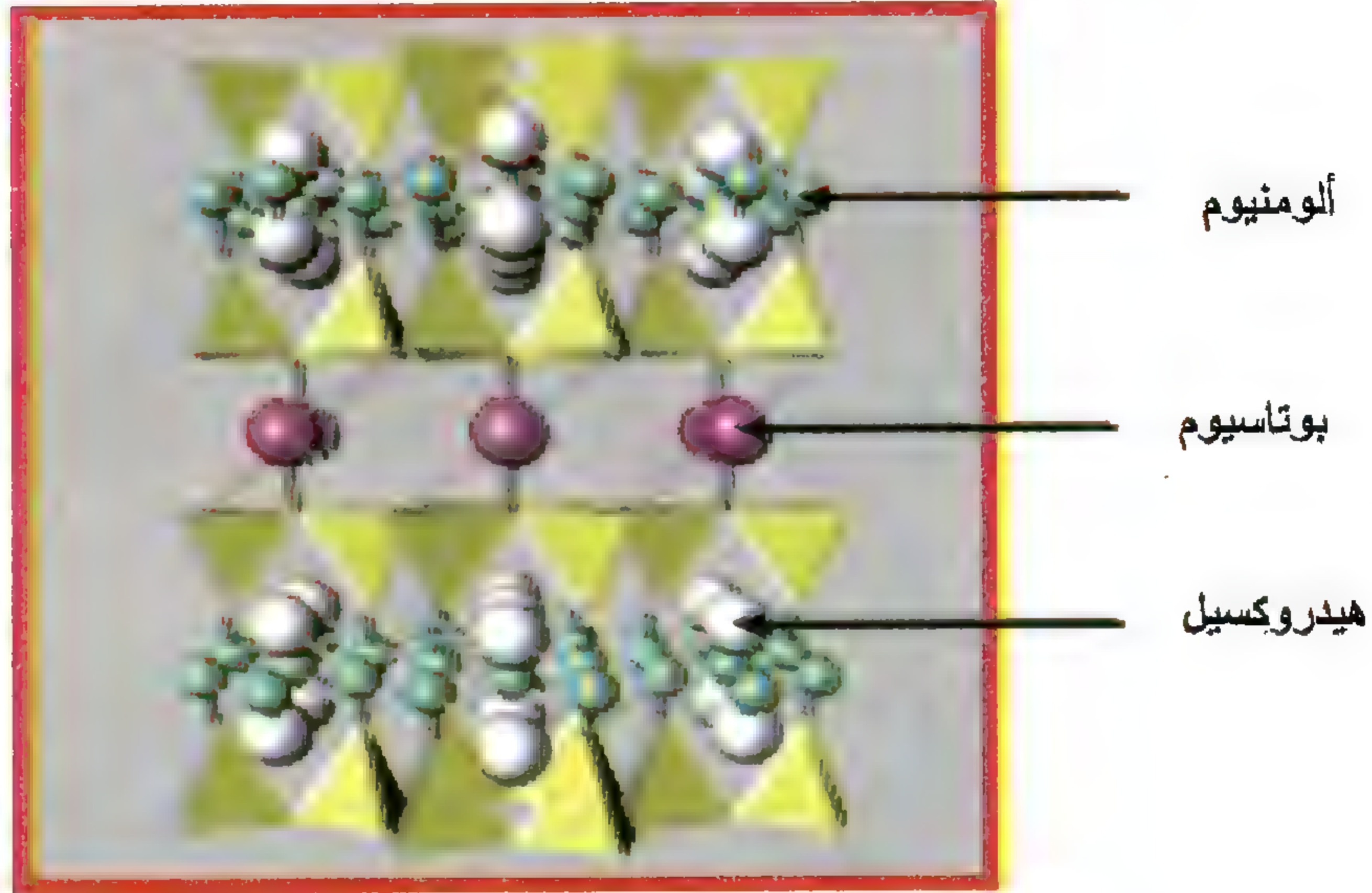
الليبيدوليت Lepidolite



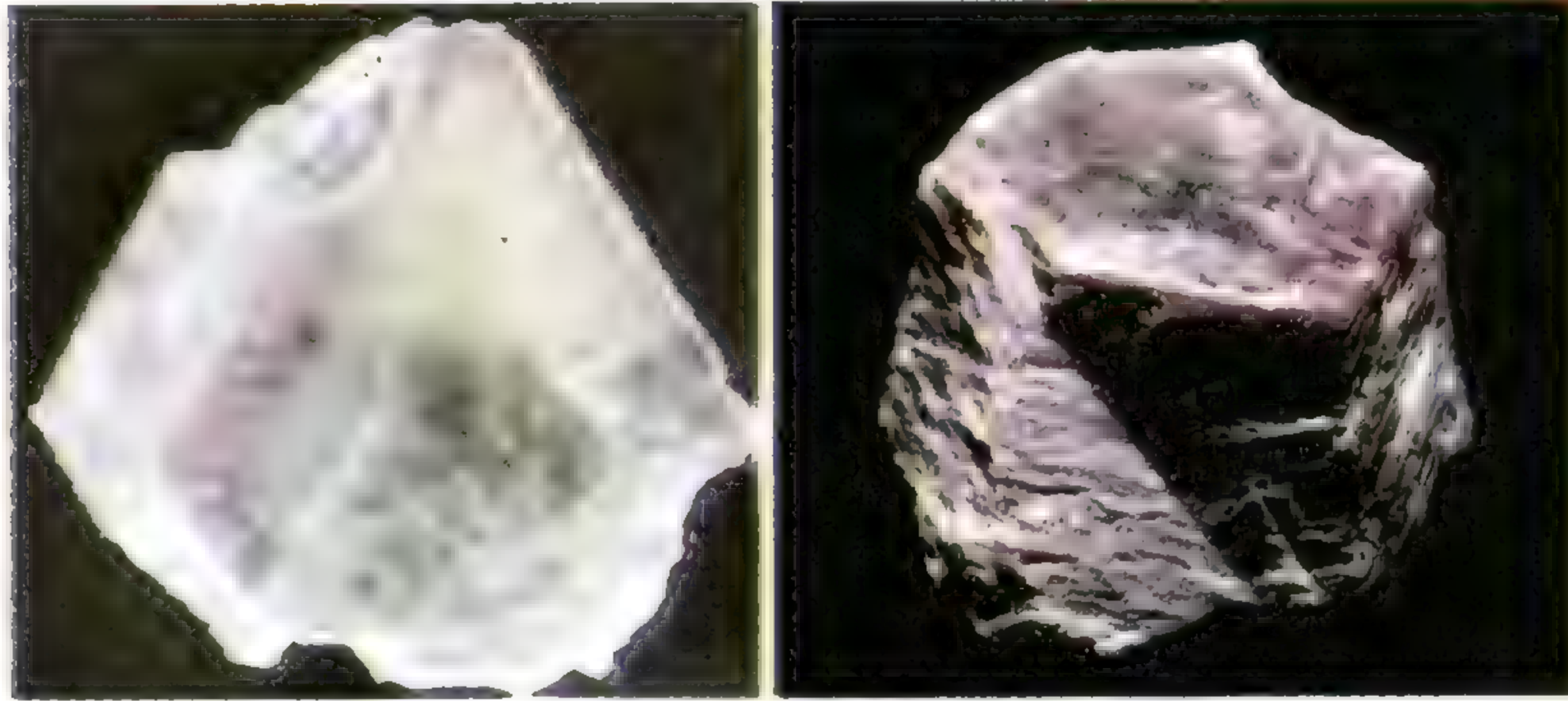
يعرف أيضاً باسم الميكا الليثيومية Lithium mica لإحتوائه علي عنصر الليثيوم بنسبة تصل إلي ٦,٤٣%. وقد أشتق الاسم من اللغة اللاتينية والتي تعني قشور.

البنية البلورية

يتبلور المعدن أساساً في فصيلة الميل الواحد وهناك بعض الأشكال المتبلورة في فصيلة الثلاثي. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 5,21$ وب $b = 8,97$ وج $c = 20,16$ أنجستروم وتبلغ النسبة بين هذه الأبعاد أ:ب:ج = $0,581 : 1 : 1,124$ ومقدار زاوية بيتا $(\beta) = 100,8^\circ$. وعدد ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 2$. البناء البلوري هو نفس البناء البلوري للمسكوفيت وهو ممثل بالبناء ٢ : ١ (T-O-T) ويمثل البوتاسيوم الكاتيونات البينية مع استبدال بسيط للألومنيوم بالليثيوم في مواقع ثمانية الأوجه (شكل ٦-١٥). يمتاز المعدن بالانعكاسات القوية للأشعة السينية عند مسافات ١٠,٠ و ٥,٠٠ و ٤,٥٠ و ٢,٥٨٩ و ١,٩٨٩ أنجستروم. تأخذ البلورات عادة هيئة صفائح صغيرة أو منشورات سداسية المظهر (شكل ٦-١٦). ويوجد المعدن غالباً في هيئة قشرية دقيقة أو خشنة التبلور.



شكل ٦-١٥: البناء البلوري لليبيدوليت



أ- بلورة منشورية سداسية الشكل ذات لون بنفسجي
ب- كتلة صفائحية ذات لون وردي وأصفر وأبيض

شكل ٦-١٦: نماذج من بلورات معدن الليبيدوليت

كيمائية المعدن

الليبيدوليت معدن من معادن الميكا التي تتميز بوجود عنصر الليثيوم. بالإضافة إلى العناصر الأساسية المكونة للمعدن كما هو واضح في صيغته الكيميائية $[(K_2Li,Al)_{5-6}(Al_{2-3}Si_{6-7}O_{20})(OH,F)_4]$ ، فقد يحل كل من الصوديوم والروبيديوم والسيزيوم محل البوتاسيوم. وقد يحل الحديد والماغنسيوم والمنجنيز محل الألومنيوم والليثيوم في مواقع ثمانية الأوجه.

يعد الليبيدوليت أحد المعادن القليلة التي تحتوى على عنصر الروبيديوم بقدر مناسب لذلك يستخدم المعدن بعد فصله فى قياس أعمار الصخور بطريقة الروبيديوم-إسترنشيوم (دير وآخرون ١٩٨٥). يوضح جدول (٦-٧) التحليل الكيميائي لمعدن الليبيدوليت. يكون المعدن سلسلة محاليل صلبة مع المسكوفيت حيث يمثل المسكوفيت الطرف الفقير بالليثيوم ويحتفظ المسكوفيت بتركيبه طالما أن محتوى أكسيد الليثيوم لا يتعدى ٣,٣% ويسمى حينئذ بالمسكوفيت الليثيومى. وقد يتحول الليبيدوليت إلى مسكوفيت عند حوافه نتيجة فقده لليثيوم وينتج بذلك شكل نطاقى (شكل ٦-١٧). وإذا دخل الحديد بكمية كافية في المواقع ثمانية الأوجه فإنه يكون معدن زينفالديت Zinnwaldit الذي يعتبر ليبيدوليت حديدى أو بيوتيت ليثيومى.

جدول ٦-٧: نماذج من التحاليل الكيميائية

لمعدن الليبيدوليت

الأكسيد	١	٢	
SiO ₂	٥٠,٢٨	٤٩,٨٠	١- الليبيدوليت من صخور
Al ₂ O ₃	٢٢,٨١	٢٥,٥٦	البيجماتيت من منجم بالا-
K ₂ O	١٧,٤٨	٩,٦٧	سانديجو- كاليفورنيا
Li ₂ O	٤,٩٢	٥,٩٥	(شانج ٢٠٠٢)
Rb ₂ O	٠,٩٧	١,٩٧	٢- الليبيدوليت من صخور
MnO	٠,٤١	٠,٣٨	البيجماتيت، السويد
MgO	٠,١٦	٠,٢٢	(بيرجرن ١٩٤١)
CaO	٠,١٨	٠,٠٠	
Cs ₂ O	٠,٣٠	١,٢٠	
H ₂ O	٢,١٠	٠,٨٨	
F	١,٢٠	٣,٩٦	
المجموع	١٠٠,٧١	١٠٠,٠٧	

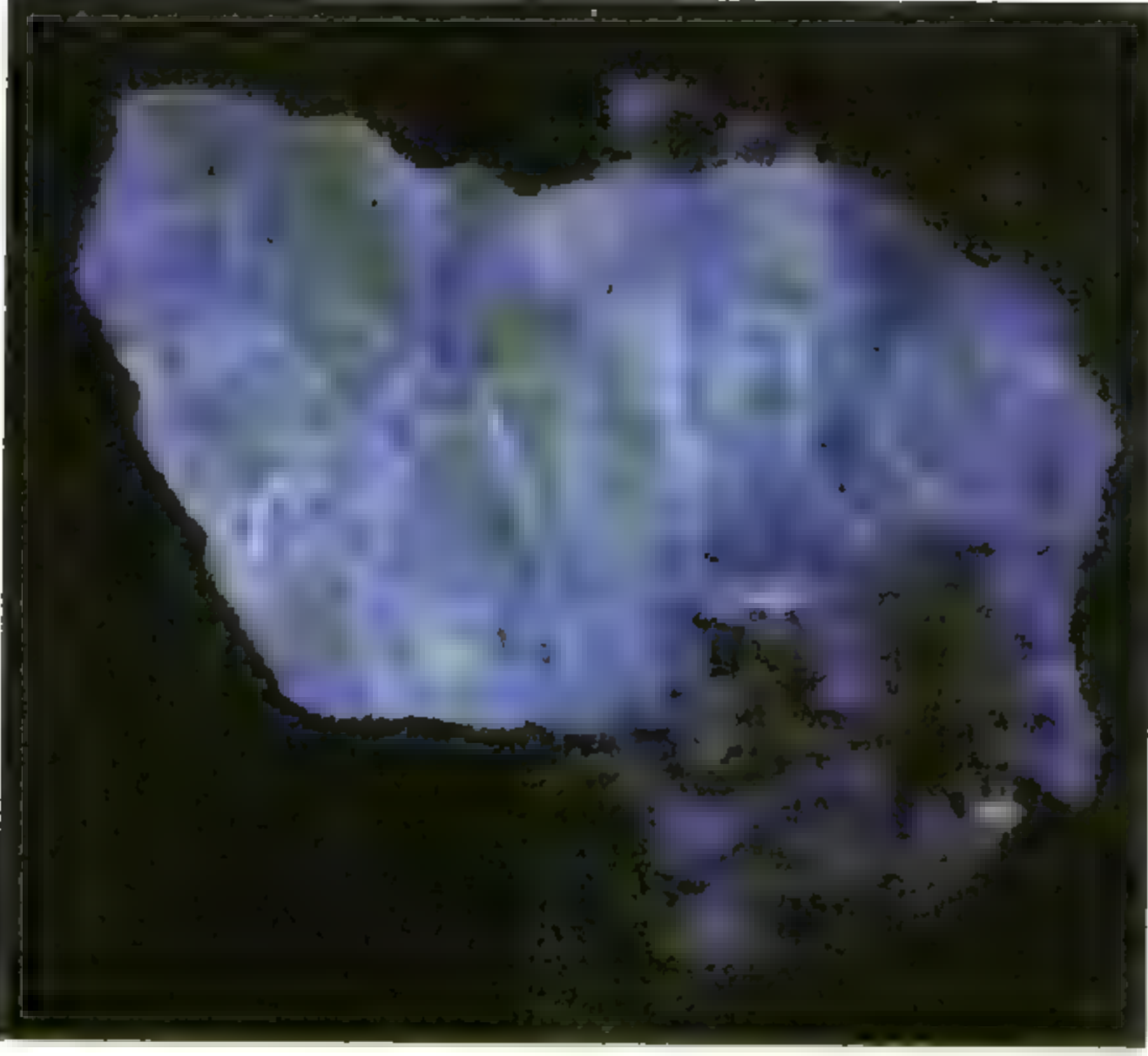


شكل ٦-١٧: بلورة ليبيدوليت سداسية الشكل وزئبقية اللون توضح
النطاقية بوجود المسكوفيت عند الحافة

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أحمر وردي فاتح وزئبقي Lilac وبنفسجي ورمادي وأصفر أو أبيض (أشكال ٦-١٦ إلى ٦-١٩) والبريق لؤلؤي. المعدن نصف شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة. الصلادة = ٢,٥ - ٤ والإنقسام قاعدي كامل موازي للمستوى {001} والمكسر غير مستوي والوزن النوعي = ٢,٨ - ٢,٩. تعتمد الخصائص البصرية للمعدن على نسبة الحديد الثلاثي والمنجنيز أكثر من اعتمادها على نسبة الليثيوم. المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات انكساره مدى واسع اعتماداً على نسبة الحديد والمنجنيز في المعدن فارتفاع نسبة العنصرين في المعدن تزيد من معاملات الانكسار وتقل من الزاوية البصرية ولكن معظم الليبيدوليت يقع في المدى الآتي: ألفا $\alpha = 1,529 - 1,537$ وبيتا $\beta = 1,552 - 1,565$ وجاما $\gamma = 1,555 - 1,568$. قرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,029 - 0,038$ والزاوية البصرية $2V = 25 - 60^\circ$.

التواجدات والصحبة المعدنية



شكل ٦-١٨: معدن الليبيدوليت يحتوى على عروق من الثوريت

معدن الليبيدوليت من المعادن النادرة نسبياً. يوجد في صخور الجرانيت البيجماتيتية حيث يصاحب معادن أخرى تحتوى على الليثيوم (الزيفالديت، والامبليجونيت Amblygonite والسبوديومين Spodumene) والتورمالين الوردى أو الأخضر والتوباز والكاسيتريت والبيريل والكوارتز والأليت. وقد وجد الليبيدوليت أيضاً في صخور الجرانيت

والأليت Aplites وعروق المحاليل الحرمائية مرتفعة الحرارة. يوضح شكل (٦-١٨) عروق من معدن الثوريت المشع داخل معدن الليبيدوليت. يتكون الليبيدوليت في البيجماتيت نتيجة عمليات التحوال للبيوتيت والمسكوفيت. قد توجد بلورات الليبيدوليت متداخلة مع المسكوفيت حيث تتوازي البلورات مع بعضها البعض. من المناطق الشهيرة بوجود المعدن جبال الأورال وجزيرة علبا بإيطاليا ومدغشقر. ويستخرج المعدن أيضاً بكميات إقتصادية مع معادن أخرى لليثيوم من صخور البيجماتيت كما هو الحال في بيجماتيت بيكيتا Bikita pegmatites في زيمبابوي وفي بيجماتيت تانكو Tanco pegmatites بكندا (شانج ٢٠٠٢) وبيجماتيت أيتجا في البرازيل (شكل ٦-١٩).

الاستخدامات

يستعمل المعدن كمصدر لفلز الليثيوم وكمصدر لأكسيد الليثيوم Li_2O . يمتاز فلز الليثيوم بالوزن المكافئ المنخفض والجهد الإليكترونى العالى لذلك يستخدم في صناعة بطاريات الليثيوم ذات الطاقة العالية (فينكاتاسيتي Venkatesetty ١٩٨٤). يستخدم الليثيوم في أربع تطبيقات صناعية أساسية وهي الزجاج وسيراميك الزجاج وطبقات التلميع والإنامل

Glazes and Enamels. بالإضافة إلى إنتاج مركبات الليثيوم المختلفة (الكربونات والهيدروكسيد والكلوريد والفلوريد والبروميد) ولكل منها إستعمال خاص في الصناعة (كويناسز ١٩٩٤ Kunasz).



شكل ٦-١٩: ليبيدوليت في هيئة غير عادية وهي البطروخية أو العنقودية، تحتوى العينة على بعض الألبيت الأبيض. من صخور البيجماتيت، أيتجا- البرازيل.
<http://www.mineralminers.com>

الفلوجوبيت Phlogopite



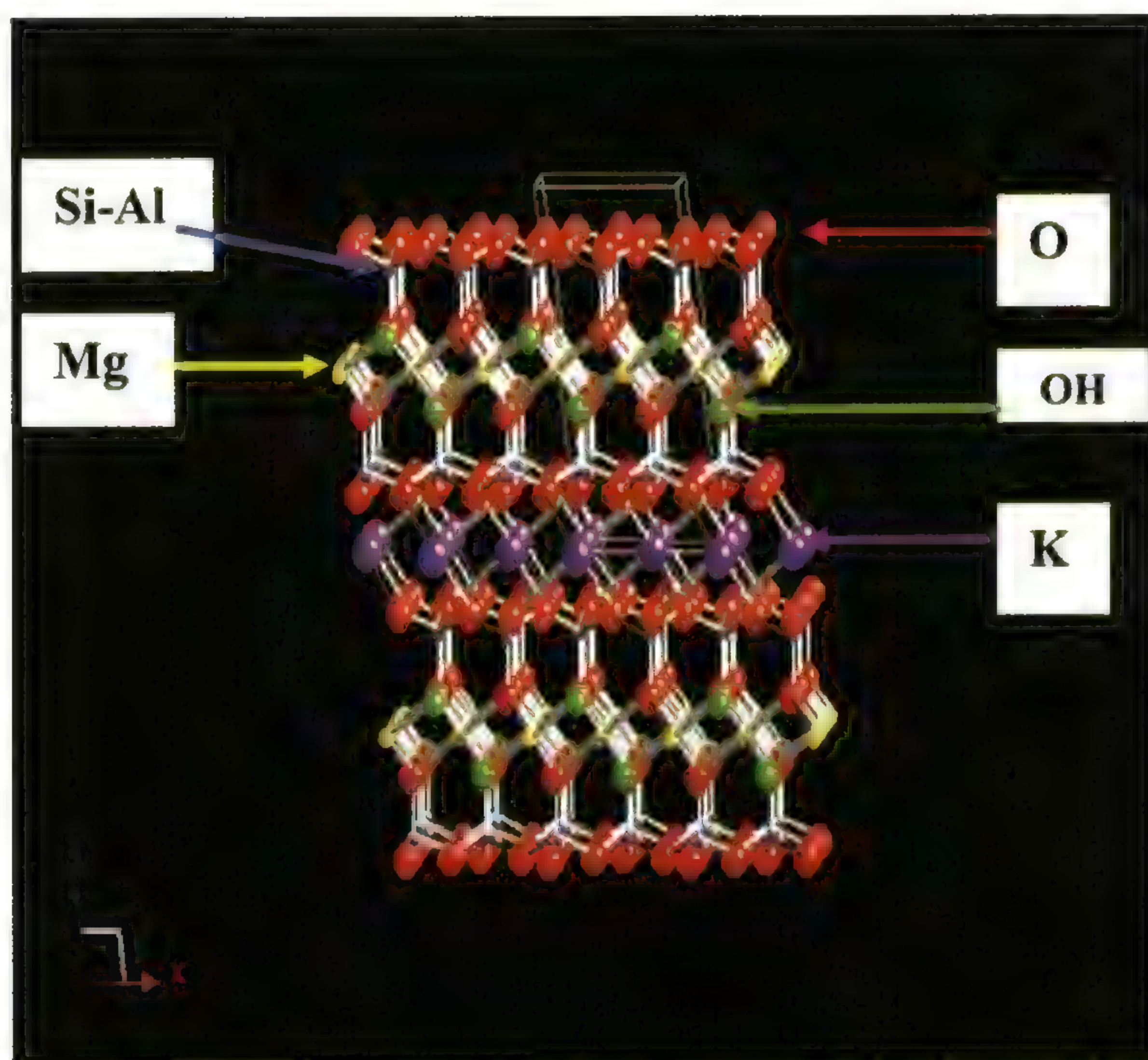
يعرف معدن الفلوجوبيت أيضا باسم الميكا الماغنيسيومية Magnesian mica أو ميكا العمبر Amber mica. ويرجع اسم الفلوجوبيت إلى الكلمة الإغريقية *Phlogo* والتي تعني الشبيه بالنار نسبة إلى لونه.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. تبلغ أبعاد خلية الوحدة $a=0.33$ ، $b=0.23$ ، $c=1.26$ أنجستروم. ونسب هذه الأبعاد لبعضها تساوى $a:b:c=1:0.577:1$.

١,١١٢. ويبلغ مقدار زاوية $(\beta) = 100.2^\circ$. عدد الذرات التي تمتلكه خلية الوحدة $(Z) = 2$. غالباً ماتوجد بلورات الفلوجوبيت على هيئة لوحيه أو سداسية الشكل أو منشورية مدببة. البلورات غالباً كبيرة وخشنة ويوجد المعدن أيضاً في هيئة كتل صفائحية.

ينتمي الفلوجوبيت إلى مجموعة المعادن ثلاثي الثماني حيث تكتمل مواقع ثمانية الأوجه بأيونات الماغنسيوم، وتكون أيونات البوتاسيوم طبقة الكاتيونات البينية (شكل ٦-٢٠). والبناء البلوري للمعدن مشابه للبناء البلوري للمسكوفيت.



شكل ٦-٢٠: البناء البلوري لمعدن الفلوجوبيت

كيمائية المعدن

يتكون معدن الفلوجوبيت من سيليكات البوتاسيوم والماغنسيوم والألومنيوم والهيدروكسيل $[KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2]$ وغالباً ما يحل الحديد محل الماغنسيوم. يطلق اسم الفلوجوبيت إذا كانت نسبة الماغنسيوم إلى الحديد $2 <$

ويسمى المعدن البيوتيت إذا كانت نسبة الماغنسيوم ١ الحديد > ٢ ، وهناك سلسلة محاليل صلبة كاملة بين كلا المعدنين. يدخل الصوديوم في البناء البلوري للفلوجوبيت بقدر أكبر من دخوله في بنية المسكوفيت. كما يوجد أيضاً في الفلوجوبيت كميات ضئيلة من الباريوم والسيزيوم والروبيديوم والمنجنيز والكروميوم والفلورين. يوضح جدول (٦-٨) نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الفلوجوبيت.

جدول ٦-٨: نماذج من التحاليل الكيميائية لمعدن الفلوجوبيت.

الأكسيد	١	٢	٣	٤
SiO ₂	٤٣,٣٦	٤٠,٩٥	٣٧,١٦	٣٨,٩٢
Al ₂ O ₃	١١,٢٥	١٧,٢٨	١٦,١٣	١٦,٤٦
K ₂ O	٩,٧٩	٩,٨٠	٧,٥٣	٥,٧٠
Na ₂ O	٠,١٦	٠,١٦	٢,٢١	٣,٣٦
Fe ₂ O ₃	—	٠,٤٣	—	—
FeO	٦,٩٢	٢,٣٨	١٠,١١	٩,٠٤
MgO	٢٣,٠٠	٢٢,٩٥	١٩,٦٨	٢١,٥٥
CaO	—	—	٠,٠٣	٠,٠٣
TiO ₂	٠,٢٤	٠,٨٢	٢,٥٦	١,٠٥
BaO	—	—	٠,٤٧	٠,٢٥
Cr ₂ O ₃	٠,٤	—	٠,٠٨	٠,٣٣
MnO	٠,٠٥	—	٠,٠٢	٠,٠٨
F	—	٠,٣٦	٠,١٨	٠,٠٦
Cl	—	—	٠,٠٢	٠,٠٥
H ₂ O ⁺	—	٤,٢٣	—	—
H ₂ O ⁻	—	٠,٤٨	—	—
المجموع	٩٥,١٧	٩٩,٨٤	٩٦,١٠	٩٦,٨٣

١- فلوجوبيت كمكتفات في الزمرد- وادي سيكيت- الصحراء الشرقية- مصر (عبدالله ومحمد ١٩٩٩)

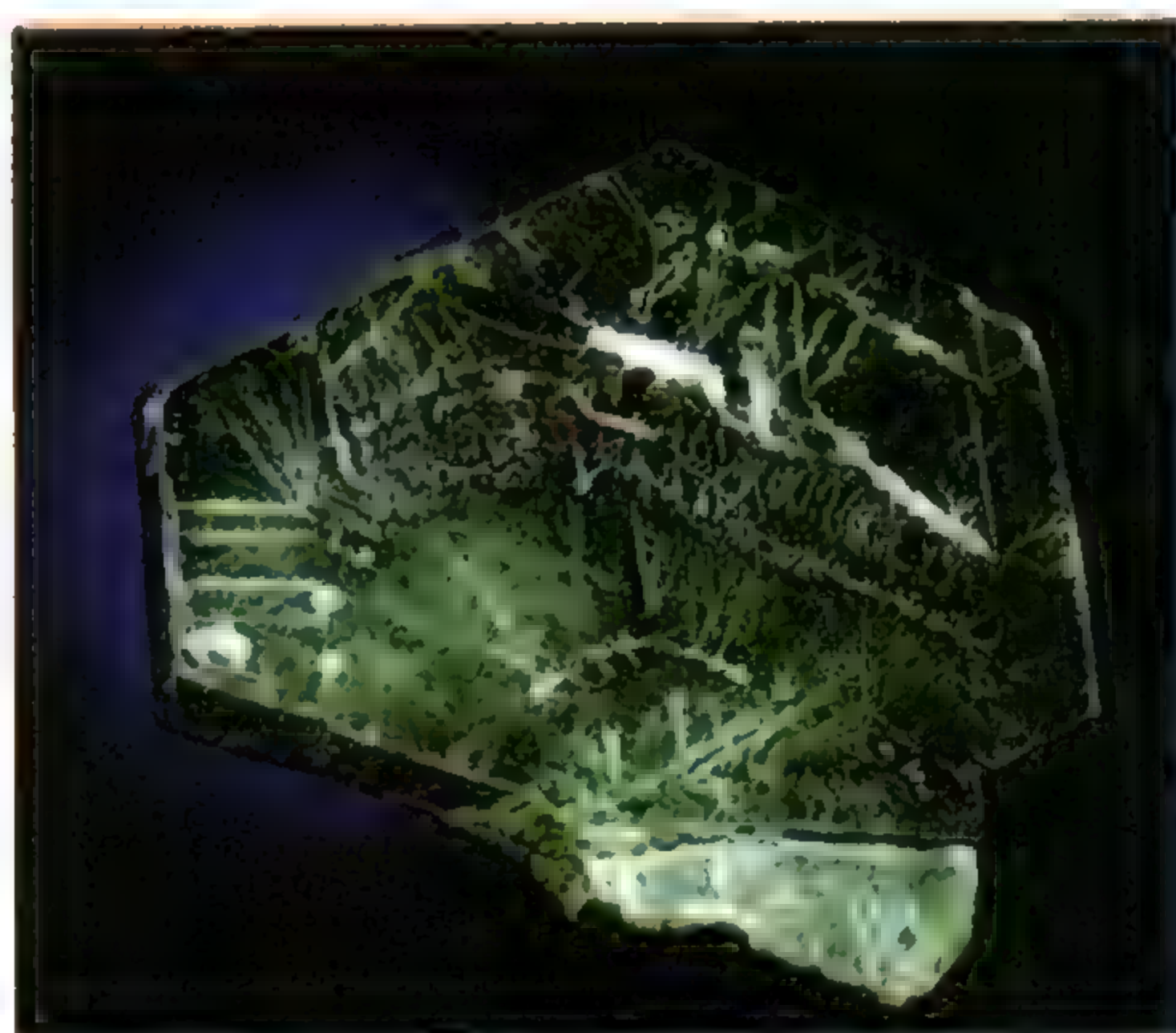
٢- فلوجوبيت في صخور الرخام بنيوزلندا (هيوتون ١٩٤٧ Hutton).

٤,٣- فلوجوبيت غنى بالصوديوم في صخور الجابرو- وسط شيلي (رودريجز ٢٠٠٠ Rodriguez)

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أصفر بني أو أخضر أو أبيض (شكل ٦-٢١). البريق زجاجي أو لؤلؤي وغالبا ذو وميض نحاسي اللون على أسطح الانقسام. المعدن شفاف وعديم اللون في القطاعات الرقيقة. المخدش أصفر أو بني. الصلادة = ٢,٥ - ٣ والانقسام قاعدي موازي للمستوى {001} والصفائح مرنة والوزن النوعي = ٢,٨٦. تبلغ معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1,53 - 1,59$ وبيتا $(\beta) = 1,56 - 1,64$ وجاما $(\gamma) = 1,56 - 1,64$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,028 - 0,049$ والزاوية البصرية $(2V) = 0 - 15^\circ$. يمتاز المعدن بالانعكاسات القوية للأشعة السينية عند المسافات ١٠,١٣ و ٤,٥٠ و ٣,٥٣ و ٣,٣٦ و ٢,٦٢ أنجستروم.

يمكن تمييز المعدن عن المسكوفيت بامتلاك الأخير زاوية بصرية أكبر. ويتميز عن البيوتيت الغنى بالحديد بمعاملات انكسار أصغر. يشبه الفلوجوبيت إلى حد كبير الليبيدوليت في المظهر والخصائص البصرية، وأفضل وسيلة لتمييزه هو اختبار الليثيوم باستعمال اللهب، بالإضافة إلى تحليل حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction.

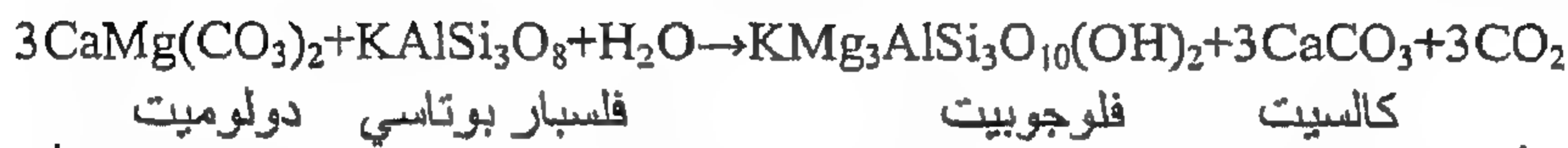


شكل ٦-٢١: بلورات منشورية مدببة بنية وخضراء اللون لمعدن الفلوجوبيت (رودلف ٢٠٠٤

-(Rudolph).

التواجدات والصحة المعدنية

يتكون معدن الفلوجوبيت في الصخور الغنية بالماغنسيوم مثل الصخور الجيرية الماغنيسية والدولوميت وذلك نتيجة تحولها بالحرارة. وكذلك يتكون في الصخور فوق المافية والسربنتينيت. ويعتقد أن الفلوجوبيت يتكون نتيجة التفاعل بين الدولوميت والفلسبار البوتاسي أو المسكوفيت المتكون سابقا أثناء عمليات التحول كما في التفاعلات الآتية:



يُصاحب المعدن غالبا صخور الكمبرليت ويكوّن من ٦ إلى ٨ % من تركيبها المعدني. لكن يندر بشكل عام وجود المعدن في الصخور النارية. وجد رودريجز (٢٠٠٠) Rodriguez الفلوجوبيت الغني بالصوديوم في صخور الجابرو الغنية بالفلسباتويد مع كل من البيروكسين والأوليفين والأليت والسانيدين (جدول ٦-٨). من البلدان التي يوجد فيها المعدن بكميات كبيرة فنلندا وسويسرا والسويد وسيريلانكا وأونتاريو وكويبك بكندا. يوجد الفلوجوبيت في مصر في عدة مناطق من أهمها منطقة حفافيت في وسط الصحراء الشرقية مصاحباً للبيجماتيت.

الاستخدامات

يعتبر الفلوجوبيت من معادن الميكا الصناعية الهامة فهو يستخدم في نفس الأغراض التي يستعمل فيها المسكوفيت ويستعمل أساساً في صناعة العوازل الكهربائية.

مجموعة الكلوريت Chlorite Group

تضم هذه المجموعة عدة معادن ذات خواص بلورية وفيزيائية وكيميائية متشابهة. ومن الصعب جداً التمييز بين هذه المعادن دون الإلتجاء إلى التحاليل الكيميائية الدقيقة والدراسات البصرية. والوصف التالي لما نسميه معدن "كلوريت" ما هو في الواقع إلا وصفاً شاملاً للأنواع الأساسية التابعة لهذه المجموعة وهي : كلينوكلور، بينيت، بروكلوريت. يرجع اسم كلوريت إلى كلمة لاتينية تعني الأخضر نسبة إلى اللون المعروف عن تلك المعادن.

تشمل هذه المجموعة معادن ذات بناء بلوري صفائحي ١:٢ (T-O-T) والتي تمتاز بعدم التمدد Non-expanding. تختلف هذه المجموعة عن المعادن الأخرى التي لها نفس البناء في كونها تحتوي على طبقات مستقرة من ثمانيات الأوجه الموجبة أكثر من عدد الكاتيونات في المسافات البينية. تحتوي طبقة ثمانيات الأوجه على طبقتين من أيونات الهيدروكسيل $(OH)^-$ التي تحوي أي من الماغنسيوم أو الحديد الثنائي أو الألومنيوم كمركز لثمانيات الأوجه مما يؤدي إلى تكوين شحنة موجبة تعادل الشحنة السالبة للطبقات. لا تملأ الكاتيونات في ثمانيات الأوجه تماماً المسافات البينية بين الصفائح ولا تعادل الشحنة السالبة للصفائح. هذه الشحنة المتبقية يمكن تعادلها بكاتيونات مختلفة تمتص من السوائل المحيطة على أسطح الحبيبات (جرونوالد ٢٠٠٢ Grunwald).

الكلوريت Chlorite

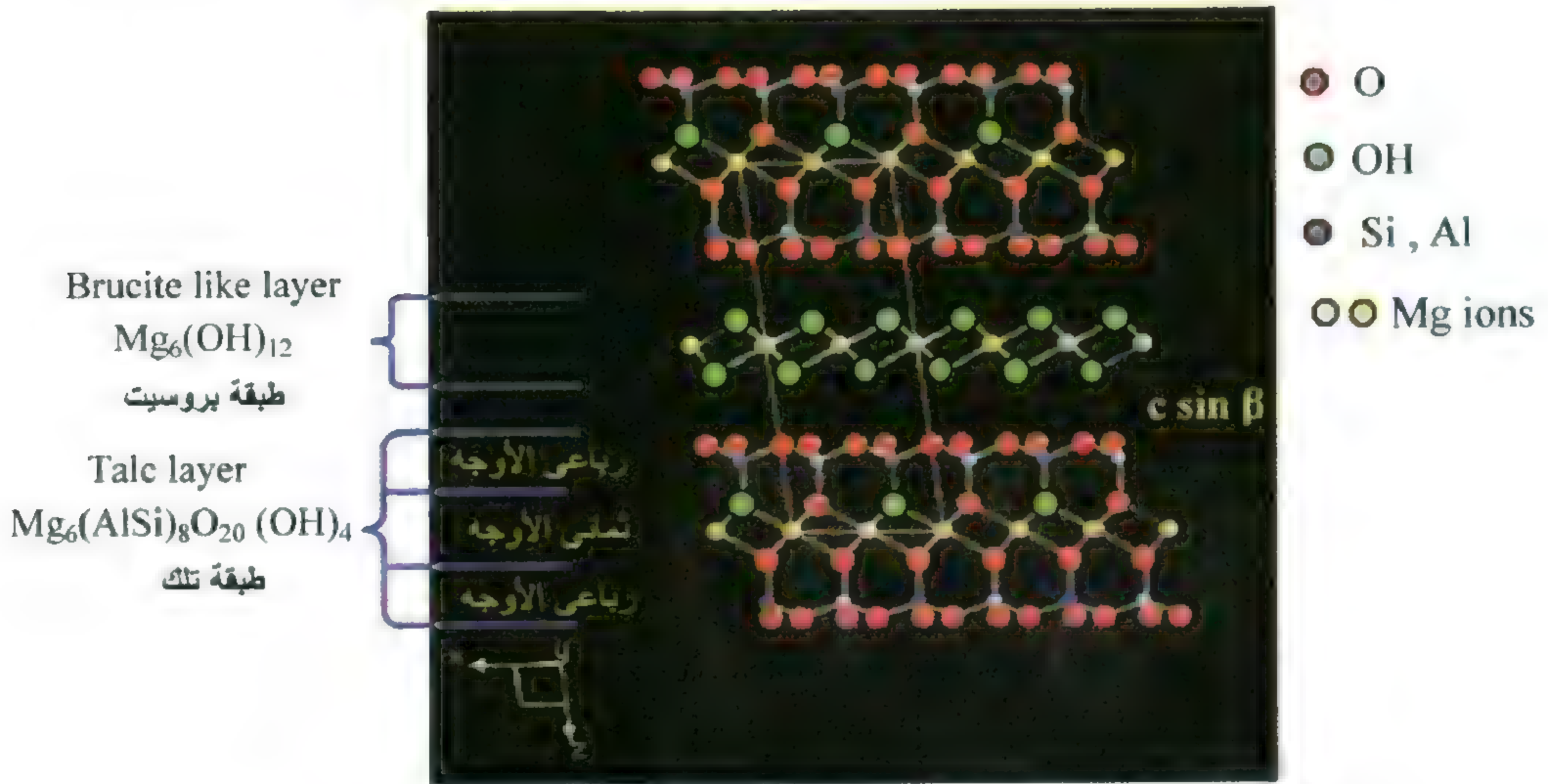


البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد، وتبلور بعض التعددات الشكلية في الميول الثلاثة. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C2/m. تبلغ أبعاد خلية الوحدة أ = ٥,٣، ب = ٩,٢، ج = ١٤,٣ أنجستروم، وتبلغ زاوية $(\beta) = 90,83^\circ$. تمتلك خلية الوحدة عدد ٢ ذرات $(Z) = 2$. يشبه

المعدن في هيئته بلورات مجموعة معادن الميكا ولكن يندر وجود بلورات واضحة. يوجد المعدن عادة في هيئة كتل صفائحية أو مجموعات مكونة من قشور دقيقة. يوجد كذلك في هيئة حبيبات صغيرة منتشرة في الصخر.

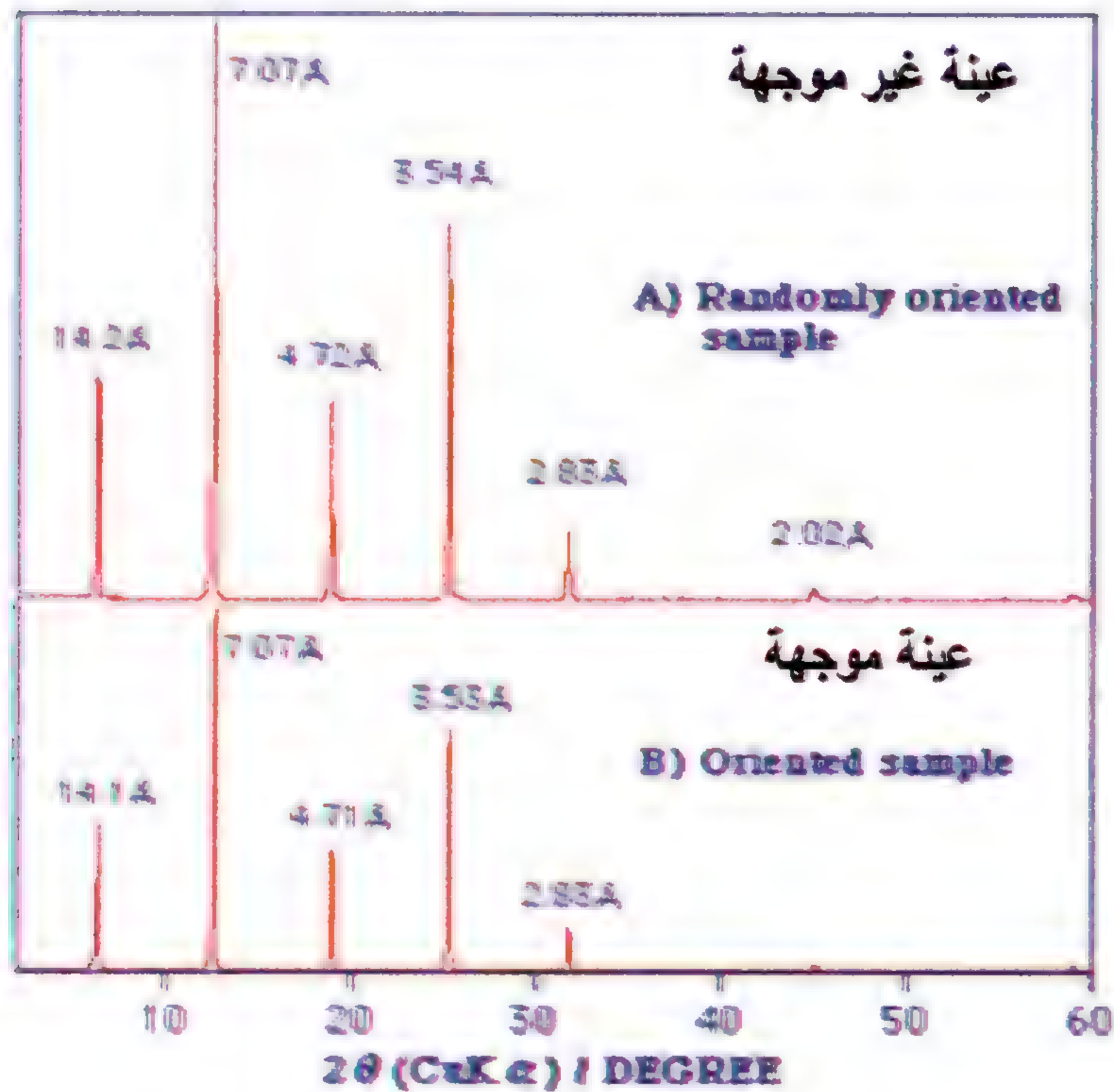
يتكون البناء البلوري للكلوريت من صفائح متبادلة إحداها مماثلة للتليك ($Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$) والأخرى مماثلة للبروسيت ($Mg_6(OH)_{12}$) (شكل ٦-٢٢). إرتفاع خلية الوحدة يساوى ج جا بيتا ($c \sin \beta$) هو نفسه سمك صفيحة كلوريت واحدة (١٤ أنجستروم). قد يحدث إحلالات ما بين الماغنسيوم والألومنيوم والحديد في أى من طبقة التلك أو طبقة البروسيت أو فى كليهما. وقد تمتلئ مواقع معينة في تلك الطبقات بنوع واحد من الذرات. تختلف أبعاد خلية الوحدة لمعادن الكلوريت باختلاف التركيب الكيميائي، فمثلا إحلال الألومنيوم محل السيليكون وإحلال الألومنيوم محل الماغنسيوم والحديد يقلل من المسافة القاعدية (d_{001}). ولا يتأثر البعد "ب" فى خلية الوحدة بهذا الإحلال، لكن يزداد كل من البعدين "أ" و"ب" بإحلال المنجنيز والحديد محل



شكل ٦-٢٢: البنية البلورية للكلوريت

الماغنسيوم. لذلك يستخدم تحليل حيود الأشعة السينية كدليل للتركيب الكيميائي فى الكلوريت. يوضح شكل (٦-٢٣) نموذج حيود الأشعة السينية للمعدن، حيث توجد نتوءات قوية عند المسافات (d -spacing) حوالي ١٤، ٧، ٤، ٣، ٥، ٨٢، ٢ أنجستروم.

يستخدم حيود الأشعة السينية للفرقة ما بين بعض معادن السيليكات الصفاتية مثل سيبتيكلوريت Septechlorites والكلوريت وهما متشابهان كيميائياً، فهذه المعادن إنعكاسات قاعدية قوية عند حوالي ٧ أنجستروم ولا تعطي نتؤات عند ١٤ أنجستروم كالكلوريت وهى بذلك تشبه السربنتين بنائياً. تسمى أحياناً هذه المعادن بالشاموسيت Chamosite (بريندلي ١٩٥١).



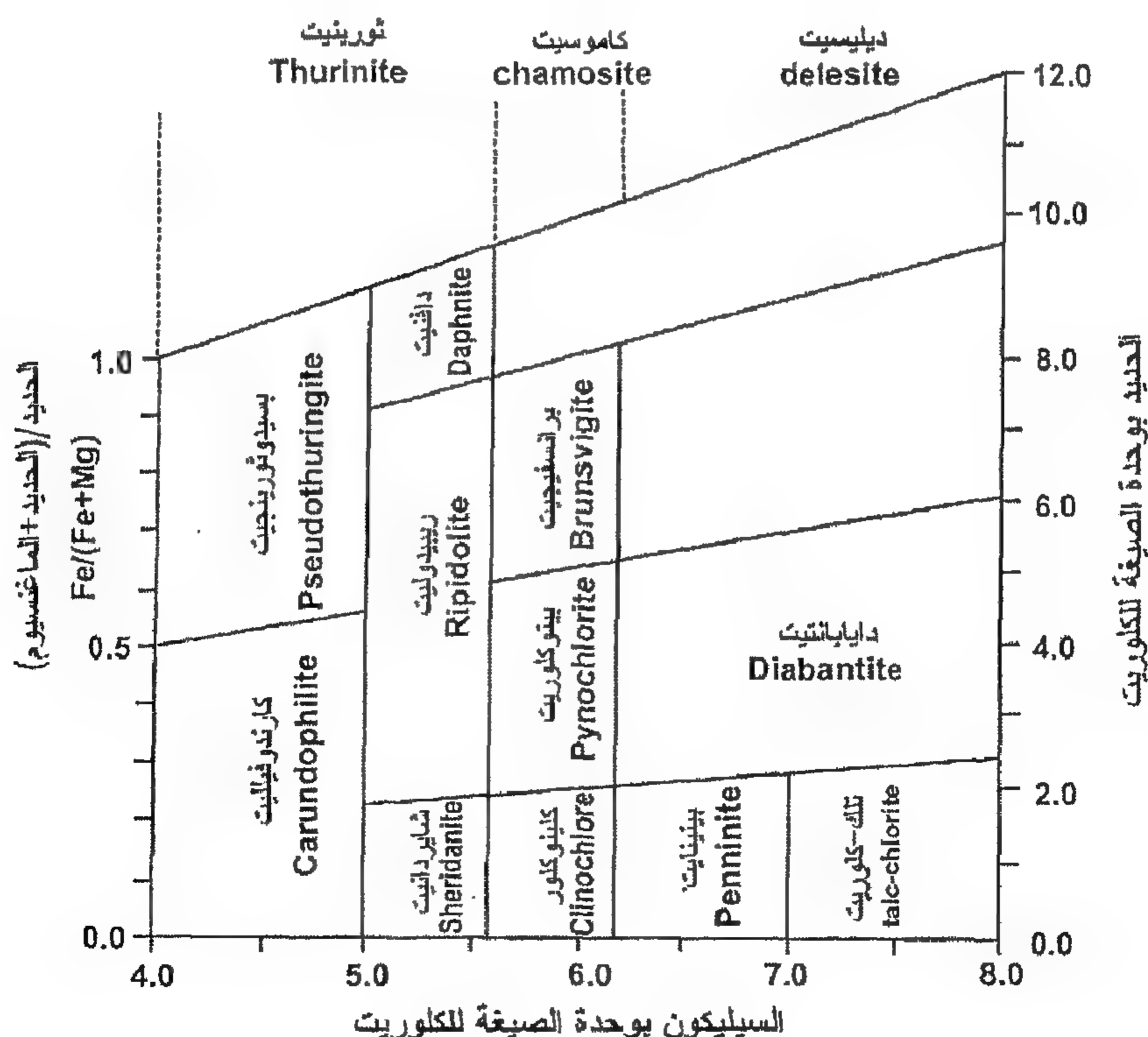
شكل ٦-٢٢: نموذج حيود الأشعة السينية للكلوريت

كيميائية المعدن

يشمل الكلوريت على عدد من طبقات التلك $Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$ وعدد مساوى من طبقات البروسيت $(Mg_6OH)_{12}$ (انظر شكل ٦-٢٢): ويحدث في الكلوريت إحلال في كل من الطبقتين بدرجة كبيرة، فالألومنيوم يحل محل السيليكون في المدى $Si_7[Al]^4$ to $Si_4[Al_4]^4$. كما يستبدل الماغنسيوم في كل

من طبقتي تلك والبروسيت بالألومنيوم في المدى $Mg_{11}[Al]^6$ to $Mg_8[Al_4]^6$. هذه الإحالات محدودة إذا ماقورنت بإحلال الحديد محل الماغسيوم فقد تصل نسبة الحديد الثنائي إلى مجموع الحديد الثنائي والماغسيوم إلى قيم تتراوح ما بين الصفر والواحد.

كيميائياً، هناك نوعين أساسيين للكلوريت، كلوريت غير مؤكسد وكلوريت مؤكسد. معادن الكلوريت المؤكسدة هي المعادن التي تعرضت للأكسدة وتحول فيها الحديد الثنائي إلى حديد ثلاثي مع خروج الهيدروجين. لذلك تحتوى تلك المعادن على نسبة كبيرة من أكسيد الحديد الثلاثي Fe_2O_3 ونسبة قليلة من الماء H_2O^+ . أما معادن الكلوريت غير المؤكسدة وهي أكثر معادن الكلوريت انتشاراً لا تحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد الحديد الثلاثي. يصنف كل من المعادن المؤكسدة وغير المؤكسدة بناء على عدد ذرات السيليكون في وحدة الصيغة إلى عدة مجموعات. يوضح شكل (٦-٢٤)



شكل ٦-٢٤: تصنيف معادن الكلوريت (هاى ١٩٥٤ Hey)

تقسيمات معادن الكلوريت عن هاى (١٩٥٤) Hey. ويوضح جدول (٦-٩) التحليل الكيميائي لأنواع مختلفة من معادن الكلوريت.

جدول ٦-٩: التحليل الكيميائي لأنواع مختلفة من الكلوريت.

الأكسيد	١	٢	٣	٤	٥
SiO ₂	٢٧,٧٢	٢٥,٦٢	٣٠,٨٥	٢٦,٤٠	٣١,٦٤
TiO ₂	٠,٠٠	٠,٨٨	٠,٠٠	—	٠,٠٠
Al ₂ O ₃	٢٢,٦٥	٢١,١٩	٢٠,٦٢	١٨,٢٣	٢١,٦١
Fe ₂ O ₃	—	٣,٨٨	—	٥,٧٠	—
FeO	١٤,٢٦	٢١,٥٥	٣,٩٨	٢٥,٨٧	٠,٧٧
MnO	٠,٠٥	٠,٣٥	٠,٠٠	٠,٠٤	٠,٠٠
MgO	٢٣,٥٤	١٥,٢٨	٣١,١٩	١١,٣٥	٣٣,٤
CaO	٠,٠٤	٠,١٦	٠,٠٠	٠,٤٢	٠,٠٠
K ₂ O	٠,٠٢	٠,٠٠	—	٠,١٧	٠,٠٠
Na ₂ O	٠,١٨	٠,٠٠	—	٠,١٧	٠,٠٠
H ₂ O ⁺	١٢,١٥	١٠,٨٧	لم تقاس	١٠,٦٠	لم تقاس
H ₂ O ⁻	—	٠,١٩	لم تقاس	١,٠٥	لم تقاس
الإجمالي	١٠٠,٦٠	٩٩,٩٧	٨٦,٦٤	١٠٠,٠٠	٨٧,٤٢

- ١- كارندوفيليت (Carundophilite) من صخر كلوريت-أكتينوليت شيست - منطقة خميس مشيت-جنوب غرب المملكة العربية السعودية (الفيلالي ٢٠٠٤).
- ٢- ريبيدوليت (Ripidolite) من صخر كلوريت-إبيدوت-البيت شيست - ديفون الجنوبية (تيلي ١٩٣٨ Tilley).
- ٣- كلوريت من صخر الرخام، منطقة القطة جنوب المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالي ١٩٩٦).
- ٤- شاموسيت (Chamosite) في حجر غريني-ويكوير-جلوسسترشير Gloucestershire (بانيسير وويتارد ١٩٤٥ Bannister and Whittard).
- ٥- كلوريت بصخور سيليكات جيرية من منطقة حزام نابيطه، جنوب المملكة العربية السعودية (دروب والفيلالي ١٩٨٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

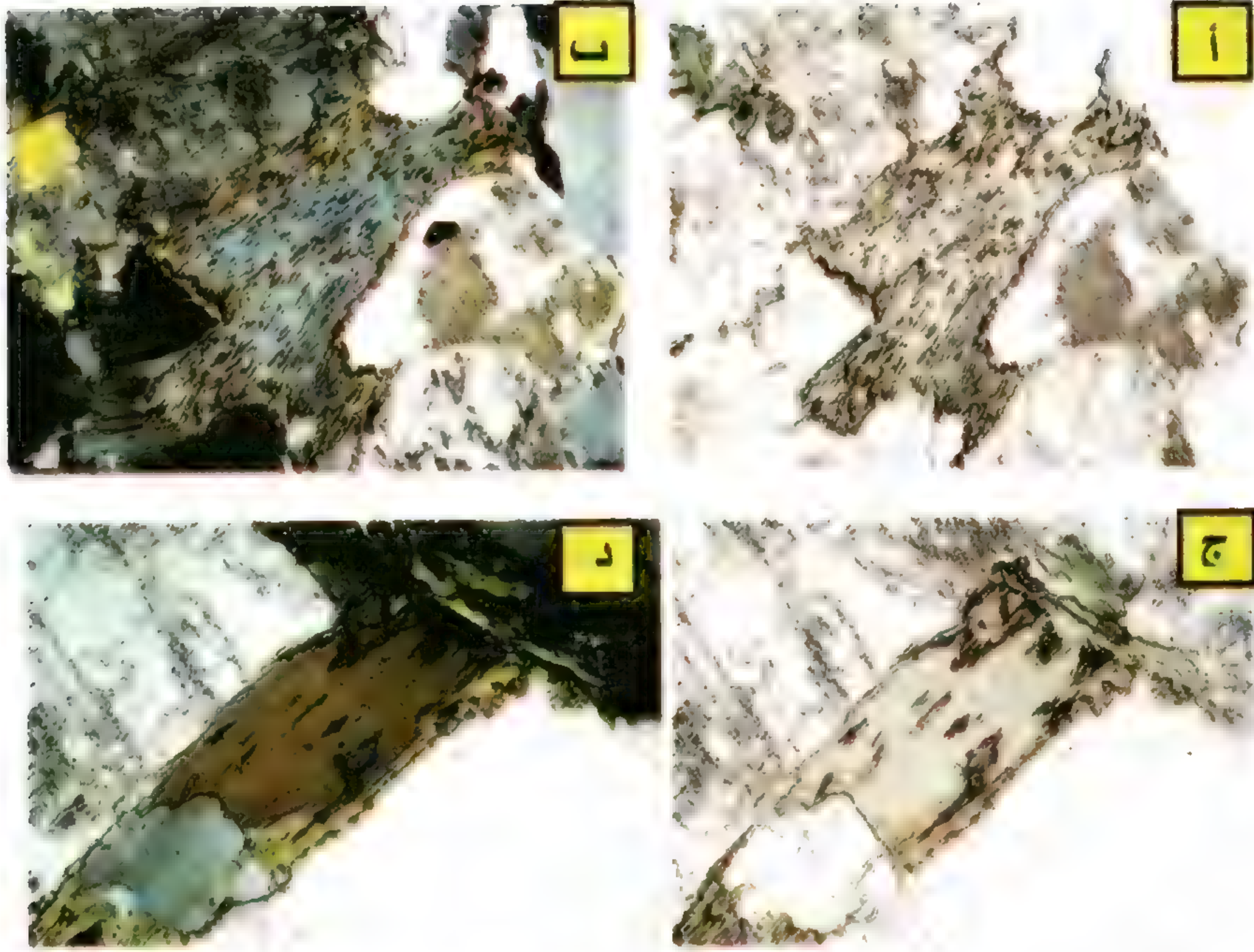


شكل ٦-٢٥: معدن الكلوريت أخضر اللون في الشكل السداسي الكاذب

ينعكس التغير الكبير في التركيب الكيميائي لمعدن الكلوريت على خصائصه الفيزيائية والبصرية وكذلك خصائص خلية الوحدة. يأخذ المعدن اللون الأخضر بدرجات مختلفة ويندر وجود الأنواع الصفراء أو البيضاء أو الوردية وقد تأخذ بلورات المعدن مظهر سداسي كاذب (شكل ٦-٢٥). البريق زجاجي أو لؤلؤي والمعدن شفاف إلى نصف شفاف، يظهر بدون

لون أو أخضر في القطاعات الرقيقة وله تغير لوني ضعيف إلى متوسط (أخضر زيتوني إلى أخضر قاتم)، ولكن التغير اللوني قوى للأنواع الغنية بالحديد. تغير زيادة نسبة الحديد بالمقارنة بالماغنسيوم من ألوان التداخل (شكل ٦-٢٦). المخدش من أبيض إلى أبيض مخضر. الصلادة = ٢-٢,٥ والانقسام قاعدي {001}، تنثني صفائح المعدن ولكنها غير مرنة. الوزن النوعي = ٢,٦-٢,٩.

معظم معادن الكلوريت ثنائية المحور موجبة ولكن البعض سالب بصرياً. تبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1,57 - 1,66$ وبيتا $\beta = 1,57 - 1,67$ وجاما $\gamma = 1,57 - 1,67$. المعدن له قرينة انكسار مزدوج صغيرة $\delta = 0,00 - 0,015$ والزاوية البصرية $(2V) = 20^\circ - 60^\circ$. وتزداد معاملات الانكسار بزيادة نسبة الحديد ويانخفاض نسبة السيليكون. للمعدن قرينة انكسار مميزة فهي أقل بكثير من معادن الميكا والإليت والكاولينيت والمونتموريللونيت والفيرميكيوليت.



شكل ٦-٢٦: أ- كلوريت غنى بالحديد في وجود المستقطب
 ب- كلوريت غنى بالحديد في وجود المستقطبين المتعامدين
 ج- كلوريت غنى بالماغنسيوم في وجود المستقطب
 د- كلوريت غنى بالماغنسيوم في وجود المستقطبين المتعامدين
http://www.union.edu/PUBLIC/GEODEPT/COURSES/petrology/ig_minerals.htm

التواجدات والصحة المعدنية

معدن الكلوريت من المعان الشائعة الواسعة الانتشار ذات المنشأة الثانوية. يتكون المعدن نتيجة تفاعل معادن السيليكات المحتوية على الألومنيوم والحديد الثنائي والماغنسيوم مثل البيروكسينات والأمفيبولات والبيوتيت والجارنت. فيوجد المعدن حيثما وجدت الصخور المحتوية على مثل هذه المعادن وخاصة في الصخور التي تعرضت لتحول إقليمي منخفض الدرجة. يعتبر الكلوريت مميز لسحنة الشيست الأخضر. وتوجد بعض صخور الشيست مكونة كلياً تقريباً من معدن الكلوريت. وكذلك يعزى اللون الأخضر لكثير من صخور الشيست والأردواز إلى وجود معدن الكلوريت منتشراً في الصخر على هيئة حبيبات دقيقة. في حالة التحول عالي الدرجة تقل نسبة

الكلوريت، وذلك لتحول الكلوريت مع الإبيدوت، في وجود أو غياب الأكتينوليت، إلى أمفيبول وبلاجيوكليز.

يعزى اللون الأخضر أيضاً في كثير من الصخور النارية إلى وجود الكلوريت الذي نتج من تغاير معادن البيروكسين والأمفيبول والبيوتيت بالمحاليل الحرمائية. ويرتبط التركيب الكيميائي للكلوريت مع التركيب الكيميائي للمعدن الأصلي. ويوجد الكلوريت في بعض الفجوات بالطفوح البركانية مع الإبيدوت والفلسبار القلوي والكوارتز والسيرسيت والزيوليت والكربونات والبيريت. فهو ناتج أساسي للتحول الشديد بالمحاليل الحرمائية للأنديزيت وبعض صخور البازلت.

ويوجد الكلوريت في الصخور الرسوبية الطينية، وغالباً مايتواجد في تركيب مختلط مع معادن طينية مثل المنتوريلونيت والإليت مكونا معدن طيني مختلط الطبقات Mixed-layer clay mineral. ويتكون الكلوريت في الصخور الرسوبية من تحلل المعادن الفيروماغنسية أو إعادة بناء المعادن السيليكاتية الصفائحية الأقل في درجة التبلور.

مجموعة السربنتين Serpentine Group

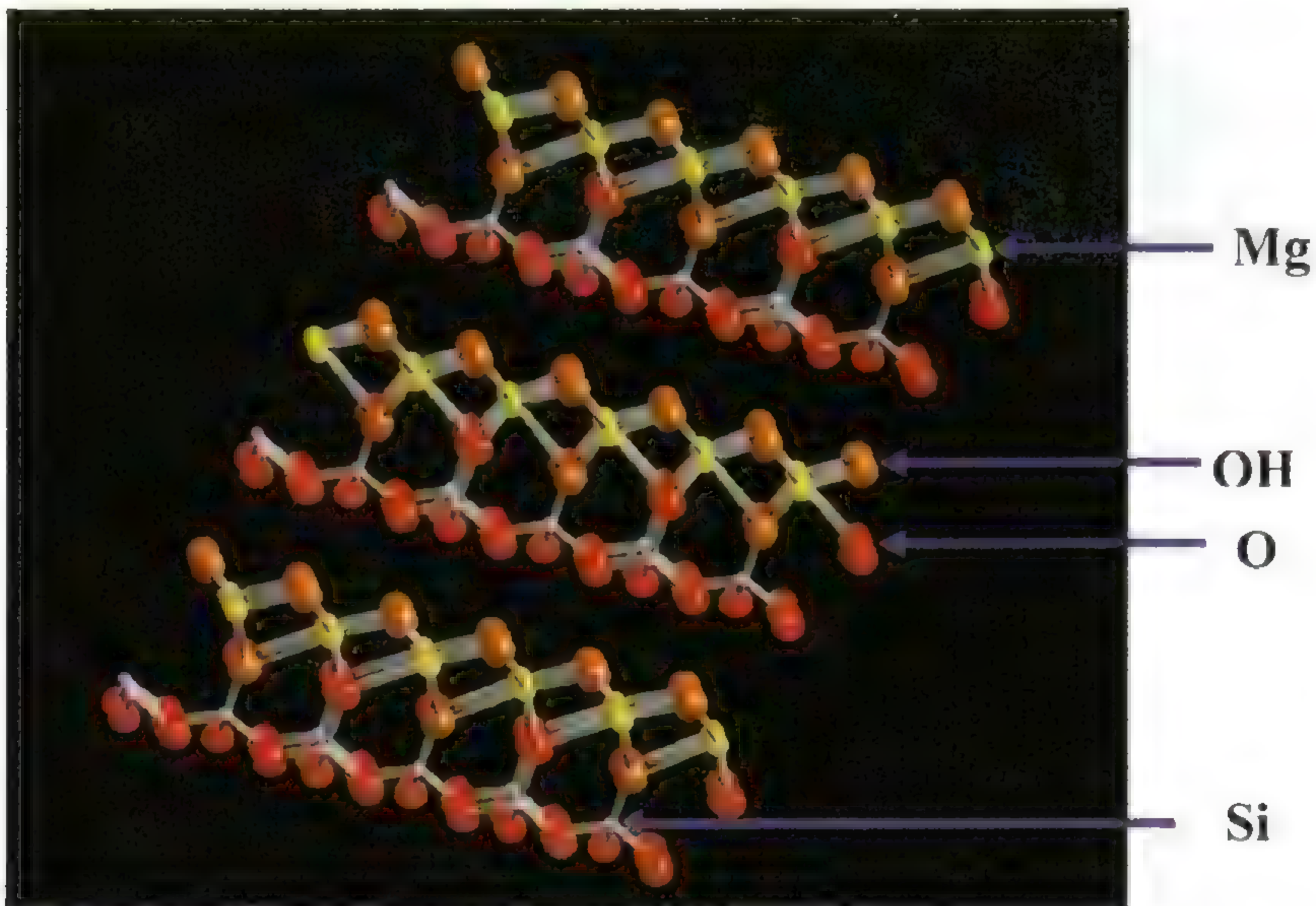


يرجع اسم السربنتين إلى كلمة سربنت Serpent وهي نوع من الثعابين تعبيراً عن ألوانه المتعددة. لمجموعة معادن السربنتين تركيب كيميائي متقارب ولكن يوجد لها ثلاث أشكال أساسية وهي الكريزوتيل Chrysotile والليزرديت Lizardite والأنتيجوريت Antigorite. أكثرها انتشاراً وأهمها الكريزوتيل لأنه يشكل المصدر الأساسي للأسبستوس Asbestose. فألياف أسبستوس الكريزوتيل لها عزم شد أكبر من عزم ألياف الأمفيبول. تتوافر فيها أيضاً خصائص الألياف الضرورية، مثل مقاومة الأحماض والحرارة، مثلها مثل ألياف الأمفيبول. يبلغ سمك ألياف الكريزوتيل عادةً أقل من ٥,٠ بوصة ولكن قد تصل أحيانا إلى ٦ بوصة. يعرف أسبستوس الكريزوتيل بالأسبستوس الأبيض وذلك لتمييزه عن الأسبستوس الأزرق Crocidolite

لأحد معادن الأمفيبول (الريبيكيت Riebeckite) والأسبستوس البني (أموزيت Amosite) لمعدن آخر من الأمفيبول. يرجع اسم أنتيجوريت إلى منطقة أنتيجوريو في إيطاليا والكريزوتيل من الكلمات اللاتينية التي تعني الذهبي والليفي.

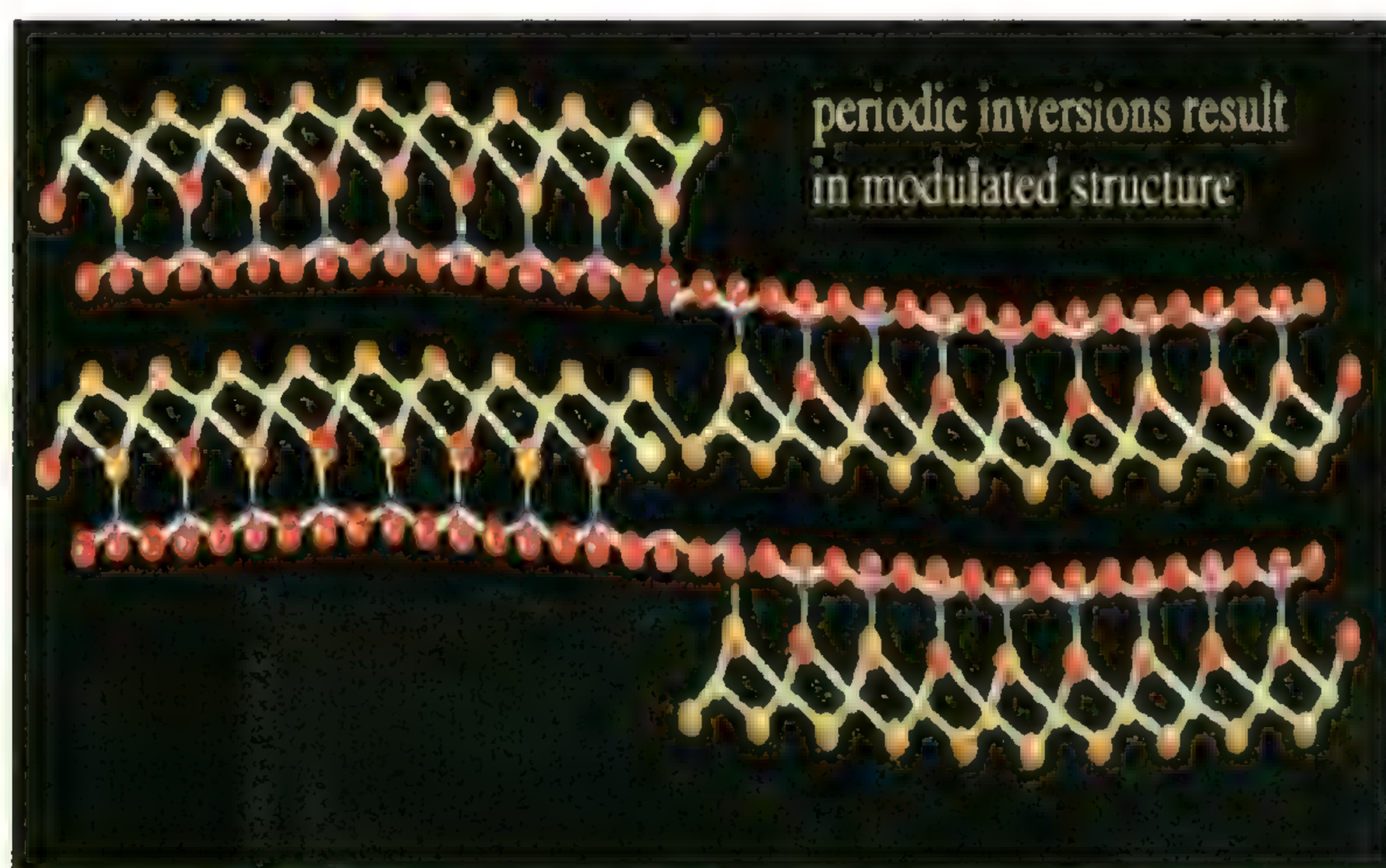
البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. يتبع البناء البلوري للسربنتين البناء الطبقي ١:١ (T-O) المماثل لبناء الكاولينيت (شكل ٦-٢٧) لكن يختلف عن الأخير في كونه ذو طبيعة ثلاثي الثماني ويختلف أيضاً في طريقة ارتباط الصفائح. وتتكون الصفيحة في السربنتين من طبقتين إحداها لها تركيب البروسيت ثماني الأوجه $Mg(OH)_6$ والأخرى رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 . يمتاز البناء البلوري لمعادن السربنتين بوجود التداخل غير المتناسق Misfit بين شرائح ثمانية الأوجه ورباعيات الأوجه، ويحدث هذا نتيجة أن حواف ثماني الأوجه الممثل بطبقة البروسيت أكبر من المسافات بين ذرات



شكل ٦-٢٧: البناء البلوري لمعدن السربنتين، ١:١ (T-O) (طبقة رباعي الأوجه SiO_4 : طبقة البروسيت $Mg(OH)_6$)

الأكسجين الطرفية في طبقة رباعي الأوجه. تأخذ كل رباعيات الأوجه في هذه الطبقة إتجاه واحد وترتبط بطبقة البروسيت بحيث يحل الأكسجين الطرفي في رباعي الأوجه محل إثنين فقط من الهيدروكسيل من طبقة البروسيت. تبلغ المسافة العمودية بين هذه الصفائح المركبة حوالي ٧,٣ أنجستروم. يُعدل هذا التداخل غير المتناسق في الكريزوتيل والأنتيجوريت بإنشاء طبقة رباعيات الأوجه (إمتداد المسافات بين أيونات الأكسجين الطرفية). لا يكون الإنشاء في الأنتيجوريت مستمر ولكن يحدث إنعكاس Corrugations (شكل ٦-٢٨). ويستمر إنشاء التركيب البنائي في الكريزوتيل ليكون أنابيب اسطوانية.

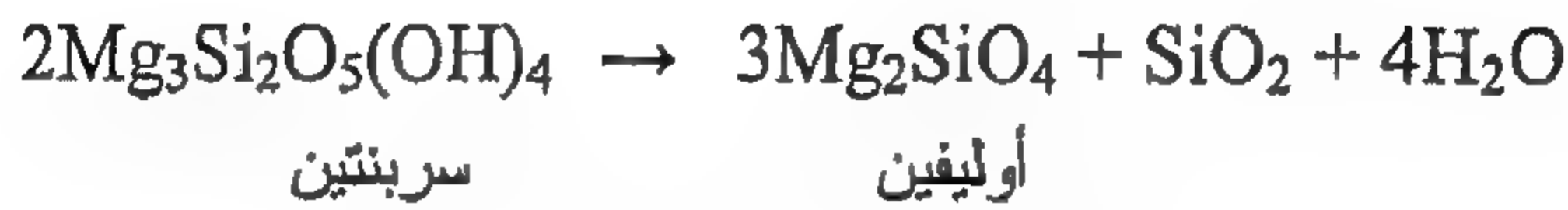


شكل ٦-٢٨: إنعكاس طبقة رباعيات الأوجه لتكوين بناء معدن الأنتيجوريت الصفائحي (كينز ١٩٦١ Kunze).

كيمائية المعدن

لمعادن السربنتين صيغة عامة هي $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ وتحتوى على حوالي ٤٣,٠٠ % MgO، ٤٤,١٠ % SiO_2 ، ١٢,٩٠ % H_2O ، مع وجود بعض التغييرات بسبب إحلال الألومنيوم محل السيليكون، وإحلال كل من الحديد والألومنيوم والنيكل محل الماغنيسيوم (جدول ٦-١٠). رغم أن السربنتين يتكون من صخور البريدوتيت Peridotite والدونيت نتيجة تحول معادن

الأوليفين الحاوية علي الحديد تحت تأثير المحاليل الحرمائية فإن الحديد لا يدخل في تركيب السربنتين بشكل أساسي، ولكن يَكُون أكاسيد منفصلة من الماجنيتيت أو الهيماتيت مصاحبة للمعدن. ويسبب تواجد أشكال متعددة من هذه الأكاسيد في إختلاف شكل صخور السربنتين من مكان إلى آخر. يتأثر السربنتين بالحرارة فإذا سخن في الهواء لدرجة ٦٠٠°م فإنه يتحول إلى الأوليفين كما في المعادلة الآتية:



جدول ٦-١٠: نماذج من التحاليل الكيميائية لأنواع مختلفة من السربنتين

الأكاسيد	١	٢	٣	٤
SiO ₂	٤١,٨٣	٤١,٢٥	٤٣,٦٦	٣٥,٩٥
TiO ₂	٠,٠٢	٠,٠٢	٠,٠١	٠,٠٠
Al ₂ O ₃	٠,٣٠	٠,٥٤	١,٠٣	٠,٥٠
Fe ₂ O ₃	١,٢٩	١,٣٢	٠,٩٠	٥,١٢
Cr ₂ O ₃	-	-	٠,٠٢	-
FeO	٠,٠٨	٠,٠٩	٠,٨١	٣,٤٨
Ni ₂ O	-	-	٠,١٦	-
MnO	٠,٠٤	٠,٠٧	٠,٠٤	٠,١٢
MgO	٤١,٣٩	٤١,٨٤	٤١,٠٠	٣٩,٧٥
CaO	ضئيل	٠,٠٢	٠,٠٥	٠,٧٤
K ₂ O	-	-	٠,٠٣	٠,٠٠
Na ₂ O	-	-	٠,٠١	٠,٠٠
H ₂ O ⁺	١٣,٦٦	١٣,٦٨	١٢,١٨	-
H ₂ O	١,٥٧	٠,٩٧	٠,٠٨	-
الأجمالي	١٠٠,١٨	٩٩,٨٠	٩٩,٩٢	٨٥,٦٦

١- كريزوتيل - ترنسفال (بريندلي وزوسمان ١٩٥٧)

٢- ليزرديت - ترنسفال (دير وآخرون ١٩٧٨)

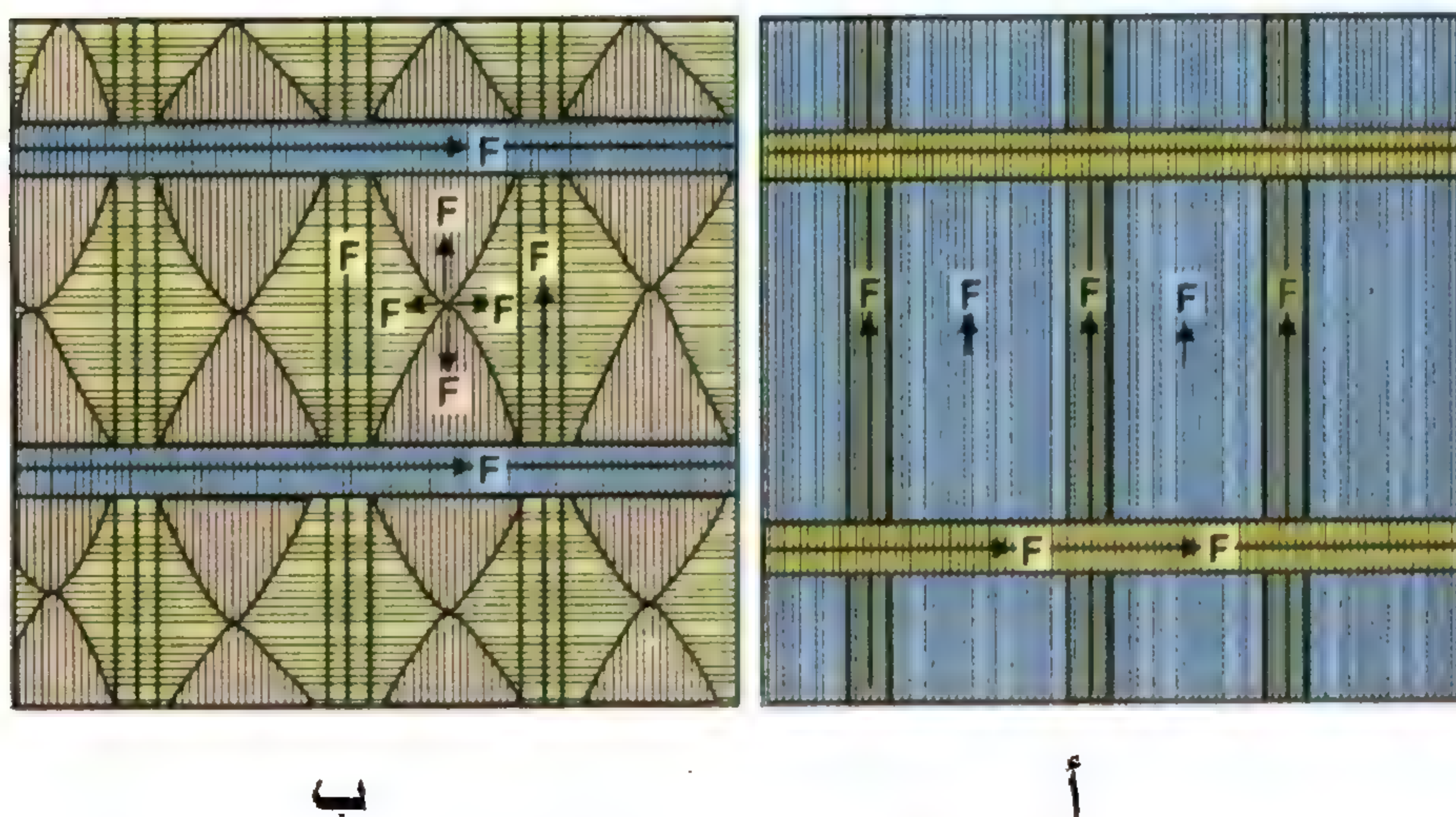
٣- أنتيجوريت - فنزويلا (هيس وآخرون ١٩٥٢)

٤- سربنتين - جبل مدرج - جنوب الصحراء الشرقية - مصر (الغريباوي ١٩٨٩)

الصفات الفيزيائية والبصرية

لون السربنتين متغير بدرجة كبيرة ومن هذه الخاصية جاءت تسمية المعدن وأكثر الألوان شيوعاً الأخضر بدرجات متفاوتة والرمادي والأحمر والبنى والأسود. البريق راتنجي أو شمعي والمعدن نصف شفاف والمخدش أبيض. تتراوح الصلادة ما بين ٢,٥-٣,٥ والإنقسام قاعدي موازي للمستوى {001} والمكسر محاري أو ليفي والوزن النوعي = ٢,١-٢,٦٥. من خصائص ألياف أسبستوس الكريزوتيل أن نسبة الطول إلى العرض تزيد عن ١٠٠:١ (شامبنيس وآخرون ١٩٧٦ Champness et al.). المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $(\alpha) = 1,529$ - $1,595$ وبيتا $(\beta) = 1,530$ - $1,603$ وجاما $(\gamma) = 1,537$ - $1,604$. قرينة الانكسار المزدوج (δ) للكريزوتيل = ٠,٠١٣ وللأنتيجوريت ٠,٠٠٧ والزاوية البصرية متغيرة $(2V) = 37^\circ - 61^\circ$.

يتميز السربنتين في المقاطع الرقيقة بين المستقطبين بوجود النسيج الشبكي أو الشباك أو زجاجة الساعة Mesh or window or hour glass structure، شكل (٦-٢٩).



شكل ٦-٢٩: رسم يوضح أنسجة معدن السربنتين أ- الشبكي، ب- زجاجة الساعة

التواجدات والصحة المعدنية

يوجد السربنتين في صخور الكربونات المتحولة مصاحبا الماجنيتيت وأنواع أخرى من المعادن الغنية بالماغنسيوم مثل التريموليت والكلوريت والدولوميت والماجنيزيت والديوبسيد والتلك والجروسيلولار والبروسيت والفلوجوبيت. قد توجد بقايا من الأوليفين مع السربنتين إذا لم تكن عمليات تحوله كامله. ينتشر الأنثيجوريت أكثر في رواسب التلك أما الكريزوتيل ففي صخور الكربونات كما في جنوب أفريقيا وأريزونا بأمريكا. يعتبر الكريزوتيل أكثر معادن السربنتين شهرة ولكنه أقلها تواجداً. يوجد في صورة عروق أو كتل في صخور السربنتين حيث يتكون في المرحلة الأخيرة من نشاط المحاليل الحرمائية (فيبلن وويلي ١٩٩٣ Veblen and Wylie).

يُنتج الكريزوتيل كآسبستوس بكميات تجارية في كل من كوبيك وأونتاريو بكندا وفيرمونت وجنوب أفريقيا والاتحاد السوفيتي السابق وأريزونا وكاليفورنيا وأماكن أخرى من العالم (روس ١٩٨١ Ross). السربنتين معدن منتشر في الصخور المختلفة التابعة لحقب البريكامبرى على الساحل الشرقي والغربي للولايات المتحدة وفي الدرع العربي النوبي في كل من مصر والمملكة العربية السعودية والسودان وأثيوبيا واليمن. يوجد في مصر في عدة أماكن في الصحراء الشرقية منها البرامية وزرقة النعام وجبل مدرج وفي المملكة العربية السعودية يوجد في مناطق حمضة وجبل الوسق والدفينة ومقنا وجبل ملح وأملج ووادي أم أسيلة.

الاستخدامات

إلى وقت قريب كانت تستخدم الأنواع الأليافية من السربنتين (كريزوتيل) كمصدر للأسبستوس الذي يعرف بالأسبستوس الأبيض وكان يشكل ٩٥% من إنتاج العالم من الأسبستوس والـ ٥% الباقية كان يمثلها أسبستوس الأمفيبول (شراير ١٩٨٩ Schreier وكلين وهيرلبوت ١٩٩٣ Klein and Hurlbut). ويستعمل الأسبستوس في صناعة العوازل الخاصة ضد الحريق والحرارة والكهرباء. وفي أواخر الثمانينيات من القرن العشرين الميلادي،

أُكتشف تأثير ألياف الأسبستوس على صحة الإنسان والحيوان حيث يسبب أورام خبيثة في الغشاء البلوري للرئة والتليف الرئوي (شيرج Churg ١٩٩٣ وكلاين ١٩٩٣)، مما أدى إلى خفض نسبة استعمال الأسبستوس بكافة أنواعه. أما الأنواع الكتلية من السربنتين ذات اللون الأخضر الفاتح أو الداكن فتستعمل في أحجار الزينة أو الديكور وقد يستعمل كحجر للبناء. أما إذا كان السربنتين مختلطاً مع الرخام الأبيض فيكسبه ألواناً ذات عروق جميلة، ويطلق على الرخام في هذه الحالة اسم الرخام الأخضر (Verde Antique Marble).

المعادن الطينية Clay Minerals

هي معادن ثانوية تنتج من تجوية شديدة لمعادن أولية حاوية في الغالب على الألومنيوم. مثل تكون الكاولينيت من الأرثوكليز وتكون معادن الإليت والفيرموكيليت بنزع أيونات البوتاسيوم البينية من الميكا الأولية. قد يوجد معدن الطين منفرداً ولكن عادةً ما يوجد أكثر من معدن طين مختلط مع غيره من المعادن مثل الكوارتز والفلسبار والمعادن الكربوناتية والميكا. تظهر جميع معادن الطين درجات متفاوتة من التمدد أو الانتفاش. فيتمدد المونتموريللونيت أكثر نسبياً من الكاولينيت والإليت. تشمل المعادن الطينية مجموعة من المعادن الثانوية رغم أن بنائها البلوري يماثل بناء المعادن الأولية، فهي سيليكات صفائحية. تتكون هذه المعادن الثانوية من صفائح رباعي الأوجه السيليكاتي وصفائح من هيدروكسيد الألومنيوم مع أو بدون صفائح من هيدروكسيد الماغنسيوم. وقد توجد العناصر القلوية بصفة أساسية في التركيب الكيميائي لمعادن الطين.

يطلق لفظ طين Clay أيضاً على أحد أنواع الصخور الرسوبية الميكانيكية التي تتكون من معادن الطين. كما يطلق على جزيئات المعادن التي تقل في حجمها عن ٢ ميكرون والتي تصبح سهلة التشكيل Plastic إذا ما بللت بقدر يسير من الماء. لا يمكن تمييز المعادن الطينية عن بعضها البعض إلا باستعمال الأشعة السينية والوسائل البصرية.

مجموعات المعادن الطينية الأساسية تشمل الآتي:

- ١- مجموعة الكاولينيت: وتضم الكاولينيت والديكيت والنكرت والهالوسيت.
- ٢- مجموعة الإليت وتضم الإليت والميكا المائية والجلوكونيت والفينجيت والبراماليت والسيلادونيت.
- ٣- مجموعة السميكتيت وتضم المونتموريللونيت والنيبترونيت والهيكتوريت والصابونيت والساكونيت.
- ٤- الفيرميكيوليت.
- ٥- مجموعة البيليغروسكيت: وتضم البيليغروسكيت وأوتابيلجيت وسيبيوليت.

الكاولينيت (Kaolinite group (Kandites)



يتكون الكاولينيت من سيليكات الألومنيوم المائية ويشمل على مجموعة من المعادن (الكاولينيت، الديكيت، النكرت، الهالوسيت) أشهرها وأكثرها انتشاراً هو معدن الكاولينيت. يمتاز المعدن بتركيب كيميائي وبناء بلوري ثابت ومحدد. اشتق اسم الكاولين من كلمة صينية وهي *Kauling* ومعناها التل العالي وهو اسم تل بالصين حيث أخرج المعدن منه منذ القدم ولعدة قرون (زينج وآخرون ١٩٨٢ Zheng et al.). لأسم الكاولين أكثر من معنى:

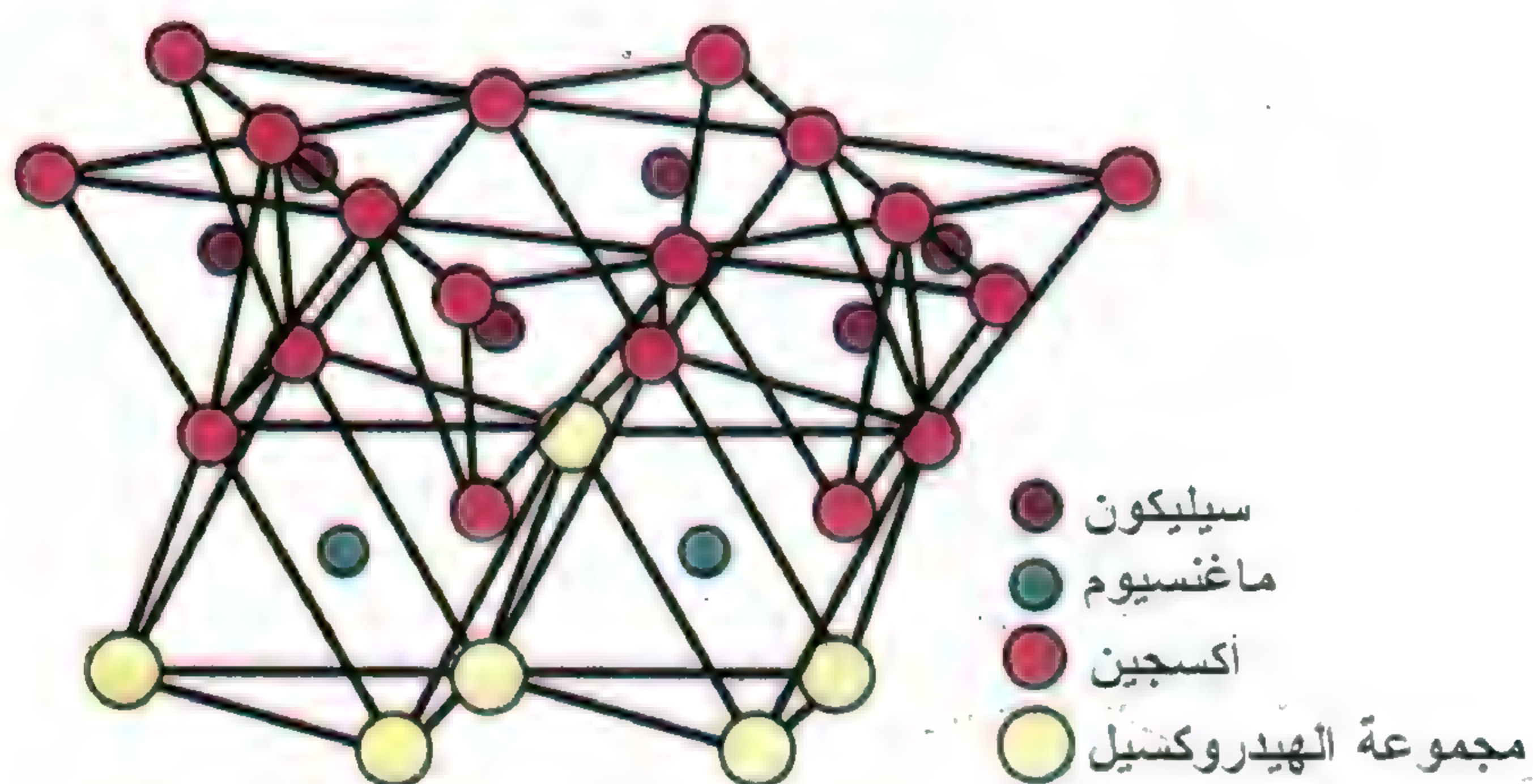
- ١- اسم مجموعة معادن طينية، ٢- اسم صخر رسوبي، ٣- اسم عائلة معادن صناعية. وفي مختلف دول العالم يطلق الطفلة الصينية China clay كاسم صناعي علي الكاولين (ميري ١٩٨٨ Murry). وسبب ذلك غير واضح، فالبعض يقول أن ذلك يعود إلى أن ماركو بولو قد أحضر كميات كبيرة من السيراميك عند عودته من الصين وأطلق عليها هو وأتباعه الأواني الصينية Chinaware. وعندما أكتشف الكاولين في كورنوال (جنوب غرب إنجلترا)، بعد ذلك، وصف بأنه يشبه الرواسب الطينية التي يُصنع منها تلك الأواني الصينية ولذلك سمي بالطفلة الصينية (ميري ١٩٩١ Murry).

فالكاولينيت هو المكون الأساسي لرواسب الكاولين أو الطفلة الصينية، والطفلة الكروية Ball clay والطفلة الحرارية Refractory clay وغيرها.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميول الثلاثة نظام الوجهى Pedial. مجموعة النقطة 1 والمجموعة الفراغية $P1$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 10.5$ ، $b = 8.93$ ، $c = 7.37$ أنجستروم وزاوية $(\beta) = 104.8^\circ$ وزاوية $(\gamma) = 90^\circ$ (نيدر وآخرون 1999). (Neder et al. 1999). ويبلغ مقدار ماتملكه خلية الوحدة ذرة واحدة $(Z) = 1$.

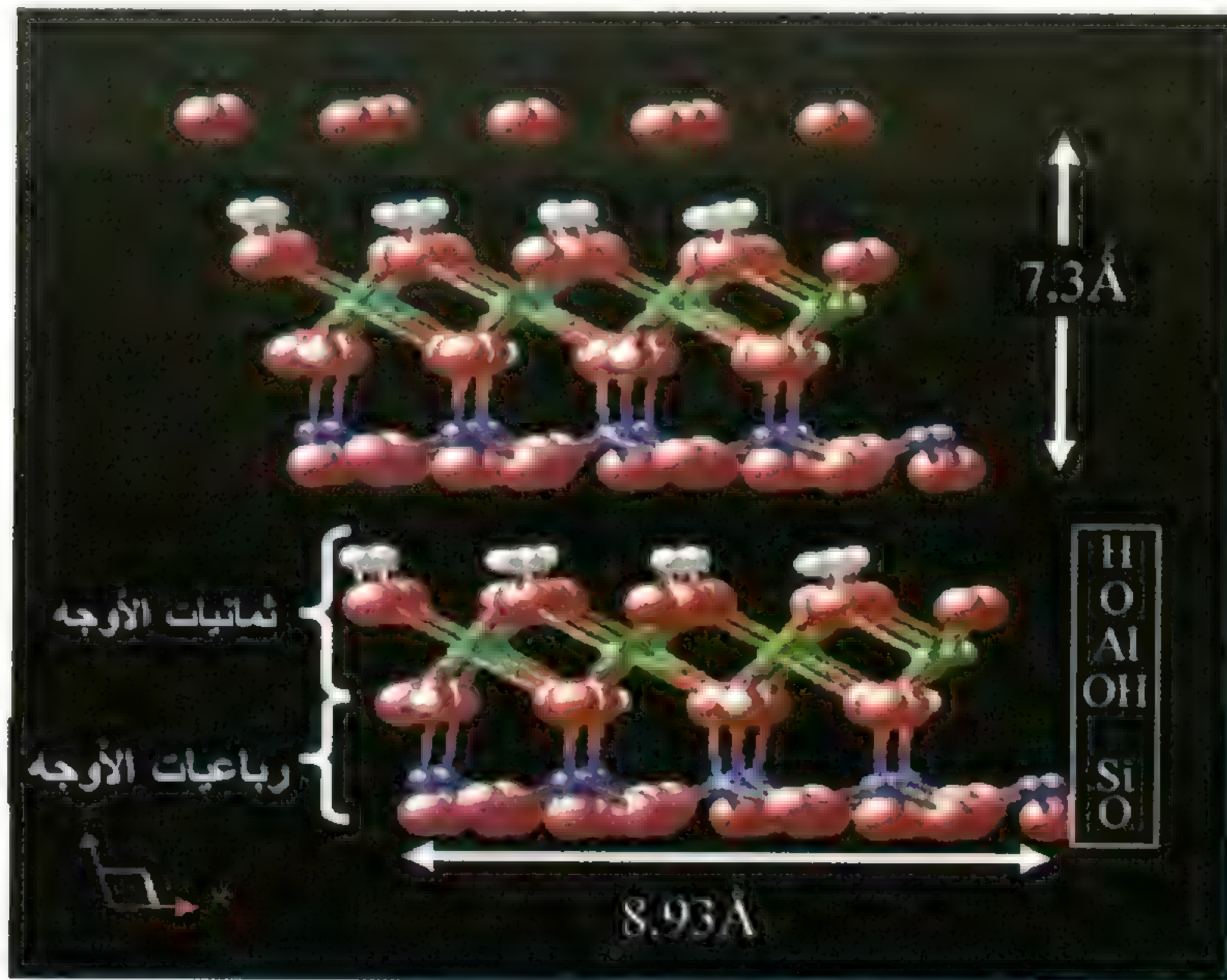
يتكون البناء البلوري لمعادن الكاولينيت من طبقة من رباعيات الأوجه مرتبطة بطبقة من ثمانيات الأوجه. لذا فهي تصنف تبعاً للسيليكات 1:1 (T-O) (أنظر شكل ٦-٣). يتكون سطحي الطبقة من أيونات مختلفة، فسطح يتكون من (O^{2-}) رباعيات الأوجه والآخر يتكون من أيونات (OH^-) ثمانيات الأوجه (شكل ٦-٣). وعندما تلتصق الطبقتان لتكوين صفيحة الكاولين، توجد أيونات الهيدروكسيل في أحدهما بالقرب من أيونات الأكسجين من الطبقة الأخرى المجاورة. لذلك ينجذب الهيدروجين (H^+) إلى طبقة أيونات (OH^-) بقوة جذب إلكتروستاتيكية ويرتبط بالأكسجين السالب في الطبقة المجاورة برابطه هيدروجينية (شكل ٦-٣). بهذه الطريقة ترتبط صفائح الكاولينيت بعضها ببعض جيداً مما يجعل الكاولينيت معدن غير قابل للتمدد نسبياً Non-expanding وغير قابل لإمتصاص الماء في المسافات البينية في



شكل ٦-٣: البناء البلوري للكاولينيت

بناءه البلوري (ويت ١٩٨٧ White). كما أن المسافة التي تمثل سمك الصفيحة في الكاولينيت وهي طول البعد "ج" في خلية الوحدة ثابتة عند ٧,٣ أنجستروم وهي أقل مسافة إذا ما قورنت بالمعادن الطينية الأخرى إذ لا يوجد أي جزيئات لأي مادة أو كاتيونات في المسافات البينية للبناء البلوري.

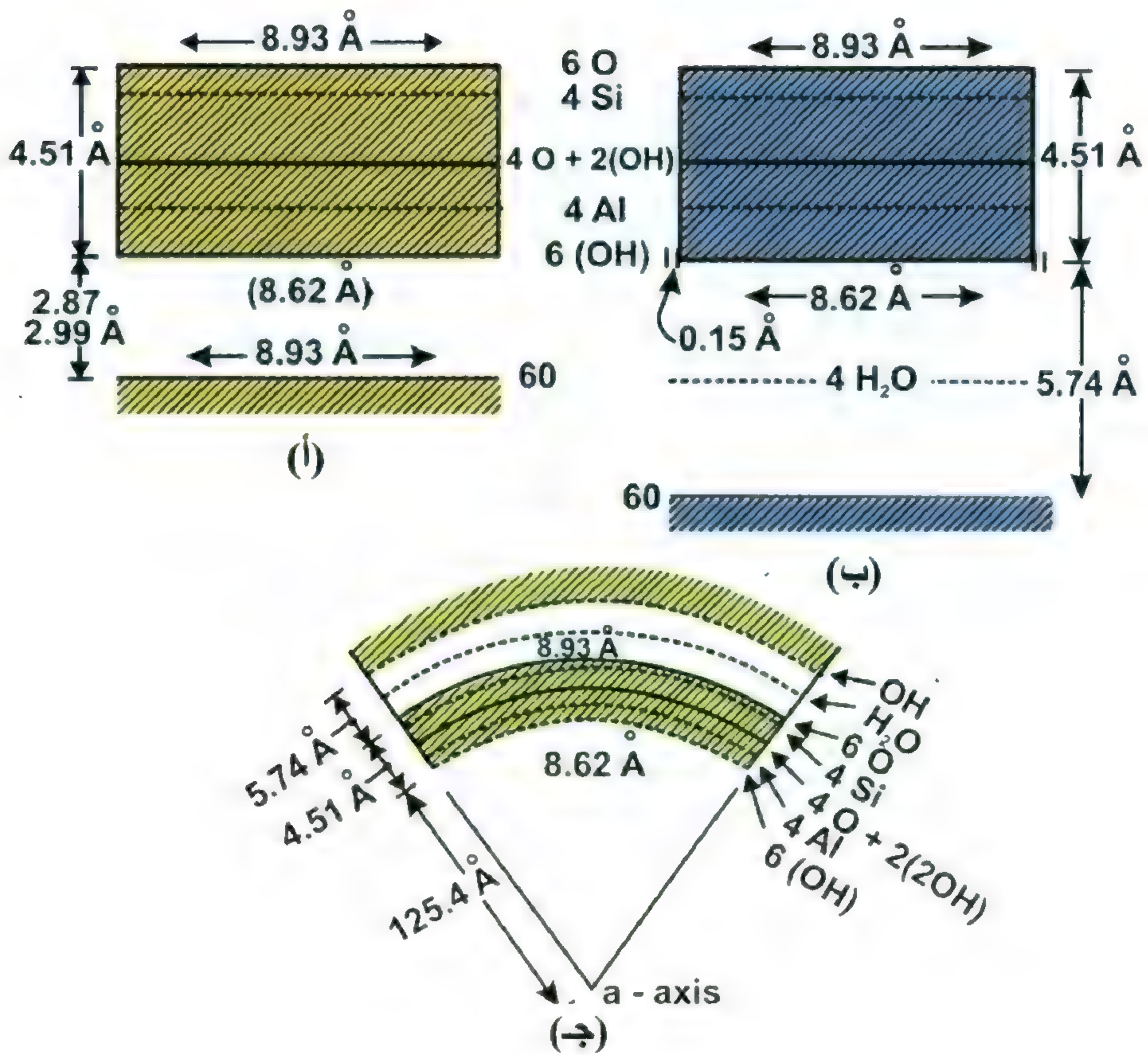
كما هو الحال في بعض أنواع الميكا، تتخذ ثمانية الأوجه في الكاولينيت هيئة ثنائي الثماني مما يدل على وجود موقع من الثلاث مواقع في ثمانية الأوجه فارغاً. وجود مثل هذا البناء (مواقع مملوءة بالكاتيونات وأخرى فارغة في طبقة ثمانية الأوجه) يعمل على تشوه الشكل السداسي. فالمواقع الفارغة تشغل مساحة أكبر من المواقع المملوءة، وذلك بسبب عدم وجود كاتيون في المركز يجذب الأيونات المجاورة للداخل.



شكل ٦-٣١: البناء البلوري للكاولينيت: لاحظ وجود الهيدروجين على السطح العلوي لثمانيات الأوجه والأكسجين على السطح السفلي لرباعيات الأوجه (بيش ١٩٩٣ Bish)

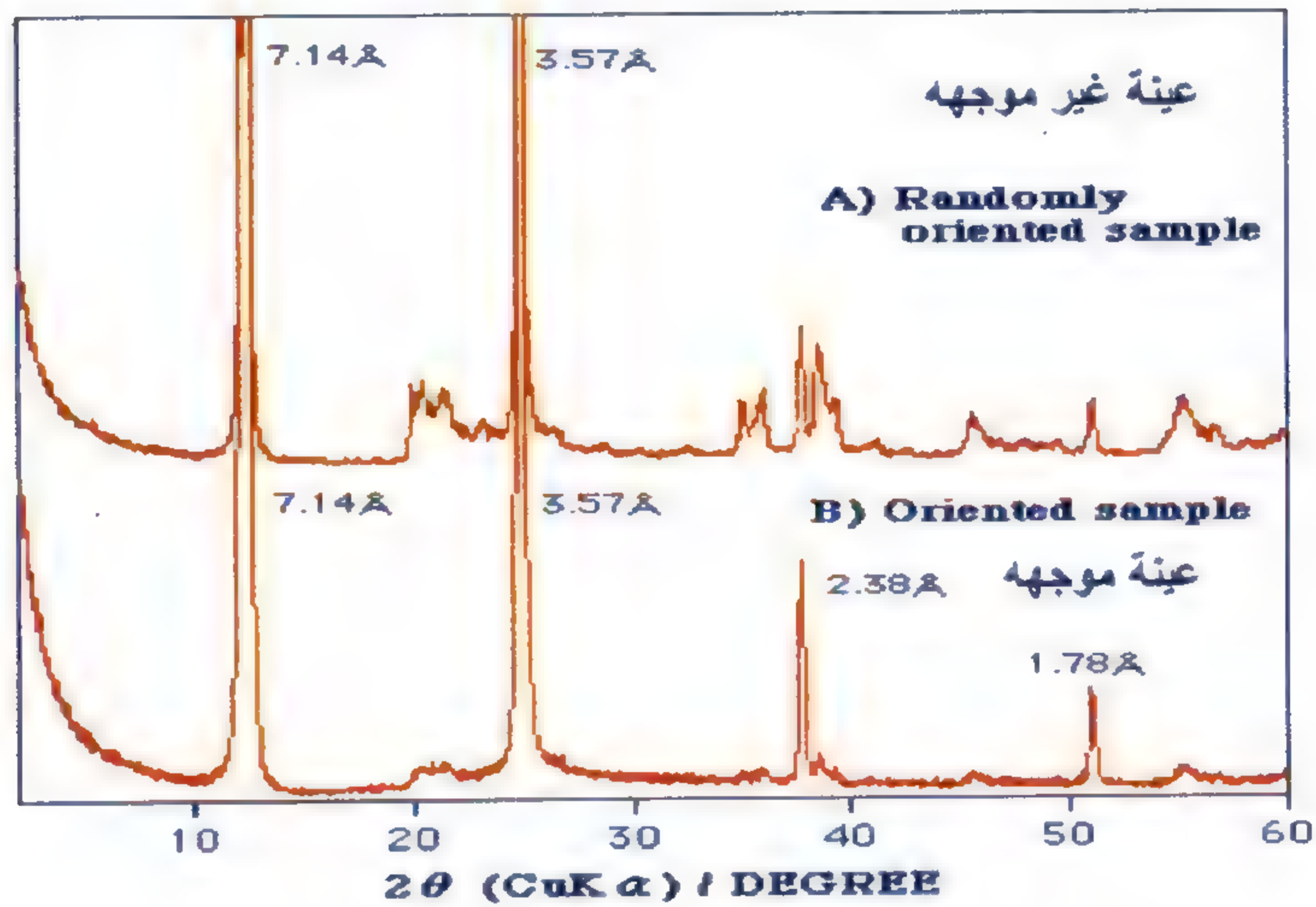
يمثل معدني الديكيت والنكريت تماماً الكاولينيت في التركيب الكيميائي، لكن في البنية البلورية نجد أن صفائح هذين المعدنين ملتصقة بطريقة

منتظمة ومختلفة عن الكاولينيت. فتشمل وحدة الخلية في الديكيت طبقتين والذكريت عدد ٦ طبقات. اما الهالوسيت Halloysite فيتكون من نفس الصيغة الكيميائية للكاولينيت بالإضافة إلى ٤ جزيئات ماء لتصبح الصيغة $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$. يوجد هذا الماء كطبقة بين الطبقات التركيبية للمعدن مما يسبب إرتباط ضعيف Disordered stacking وزيادة المسافة البينية (d_{001}) من ٧,٣ إلى ١٠ أنجستروم. وبذلك يصبح بناء الهالوسيت من ثلاث طبقات وهي علي الترتيب رباعيات الأوجه - ثمانية الأوجه - الماء. كما يؤدي وجود الماء إلى إنتشاء البناء البلورى للهالوسيت فى شكل أنبوى (شكل ٦-٣٢) (جريم ١٩٦٨ Grim).



شكل ٦-٣٢: رسم يوضح البناء الصفائحي (أ) الكاولينيت، (ب، ج) الهالوسيت (جريم ١٩٦٨ Grim)

يوضح شكل (٦-٣٣) تحليل معدن الكاولينيت جيد التبلور بالأشعة السينية ويشير إلى وجود نقوءات قوية عند ٧,١٤ و ٣,٥٧ أنجستروم. يشير شكل النقوء في نموذج حيود الأشعة السينية إلى درجة تبلور المعدن، فكلما زادت درجة تبلور المعدن كلما كانت النقوءات مرتفعة وحادة. تتأثر درجة تبلور الكاولينيت مباشرة بالطحن. فبنهار البناء البلوري للمعدن عند طحنه لمدة ساعة، لكن لا يحدث إنهيار تام إلى الحالة غير متبلورة حتى إذا زادت مدة الطحن إلى ١٠ ساعات (كريستوف وآخرون ١٩٩٣ Kristof et al.). قد يتداخل أحياناً وحدات من الكاولينيت لتتبادل مع وحدات من السميكتيت في بناء واحد ليتكون معدن طيني مختلط Mixed-layer kaolinite/smectite.



شكل ٦-٣٣: نموذج حيود الأشعة السينية للكاولينيت

كيمائية المعدن

تركيب الكاولينيت الكيميائي ثابت وهو ممثل بالصيغة المثالية $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ويحتوى على حوالى ٤٦,٥٤ % SiO_2 و ٣٩,٥ % Al_2O_3 و ١٣,٩٦ % H_2O . التغيرات في كيمائية الكاولينيت محدودة فقد يحدث إستبدال للألومنيوم بالحديد وكل من الماغنسيوم والسيليكون بالألومنيوم بنسب ضئيلة قد يصعب تحديدها في البناء البلوري لضئالتها ولصغر حجم حبيبات الكاولينيت (دير وآخرون ١٩٩٢). وقد وجد ويت

(White ١٩٨٧) أن الحديد يستبدل الألومنيوم في حدود النسبة ١:٣٠. رغم ذلك فنادرًا ما نجد التحليل الكيميائي السابق ذكره وذلك لوجود الكاولينيت مختلطاً مع معادن أخرى مثل الكوارتز وأكاسيد الحديد ومعادن الكربونات، يوضح ذلك جدول (٦-١١) ويشير إلى التحاليل الكيميائية لرواسب الكاولين في كل من المملكة العربية السعودية ومصر. الكاولينيت ثابت في مدى واسع من درجة الحمضية pH حيث لا يتأثر بتغيرها من ٤ إلى ٩. ويرجع ذلك

جدول ٦-١١: نماذج من التحاليل الكيميائية لرواسب الكاولين.

الأكسيد	١	٢	٣	٤	٥
SiO ₂	٤٨,٠٠	٥٥,٧٥ - ٤٧,٠٠	٥٢,٠٠	٤٤,١٠	٥٥,٣٠
Al ₂ O ₃	٢٢,١٤	٢٩,٤٠ - ٢٥,٠٠	٣١,٨٠	٣٦,٧٠	٢٧,١٠
Fe ₂ O ₃	-	٢,٦٠ - ٢,٤٠	١,٣٠	١,٤٠	٤,٢٠
TiO ₂	-	٢,٠٥ - ١,٢٦	٣,١٠	٢,٩٠	١,٧٠
CaO	١,٢٣	{ ٢,٨٥ - ٠,٩٠	٠,٢٠	٠,٢٠	٠,٤٠
MgO	-		٠,١	٠,٢٠	٠,٤٠
K ₂ O+	-	{ ١,٢٦ - ٠,٤٠	{ ٠,٢٠	٠,١٠	٠,٤٠
Na ₂ O	-			٠,١٠	٠,٢٠
SO ₃	٠,١٧	-	-	-	-
Cl	٠,٣٨	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	٠,١٠	-	-
فاقد حريق	-	-	١١,٢٠	١٣,٥٠	١٠,٠٠
المجموع	٧١,٩٢	٨٥,٧١ - ٨٥,٢٠	١٠٠	٩٩,٢٠	٩٩,٣٠

- ١- طفلة ملونة (٨٠-٩٠% كاولين + ١٠-٢٠% إليت) - تكوين الوسية - خشايم راضى - جنوب شرق الرياض - المملكة السعودية (المساحة الجيولوجية السعودية ٢٠٠٦)
- ٢- الكاولين الأبيض - تكوين الوسية - خشايم راضى - جنوب شرق الرياض - المملكة العربية السعودية (المساحة الجيولوجية السعودية ٢٠٠٦)
- ٣- كاولين جنوب مضبة التية - سيناء - مصر (غبريال ٢٠٠٤)
- ٤- كاولين كلابشة - جنوب اسوان - مصر (سرى وآخرون ٢٠٠٤)
- ٥- الطفلة الحرارية (الطفلة الأسوانلى) أبو الرايش - شمال شرق اسوان - مصر (سرى وآخرون ٢٠٠٤).

إلى ثبات مكوناته وعدم أو قلة ذوبانها في المحاليل في هذا المدى لذلك فهو من أكثر المعادن ثباتاً في التربة (ديكسون ١٩٧٧ Dixon).

الصفات الفيزيائية والبصرية



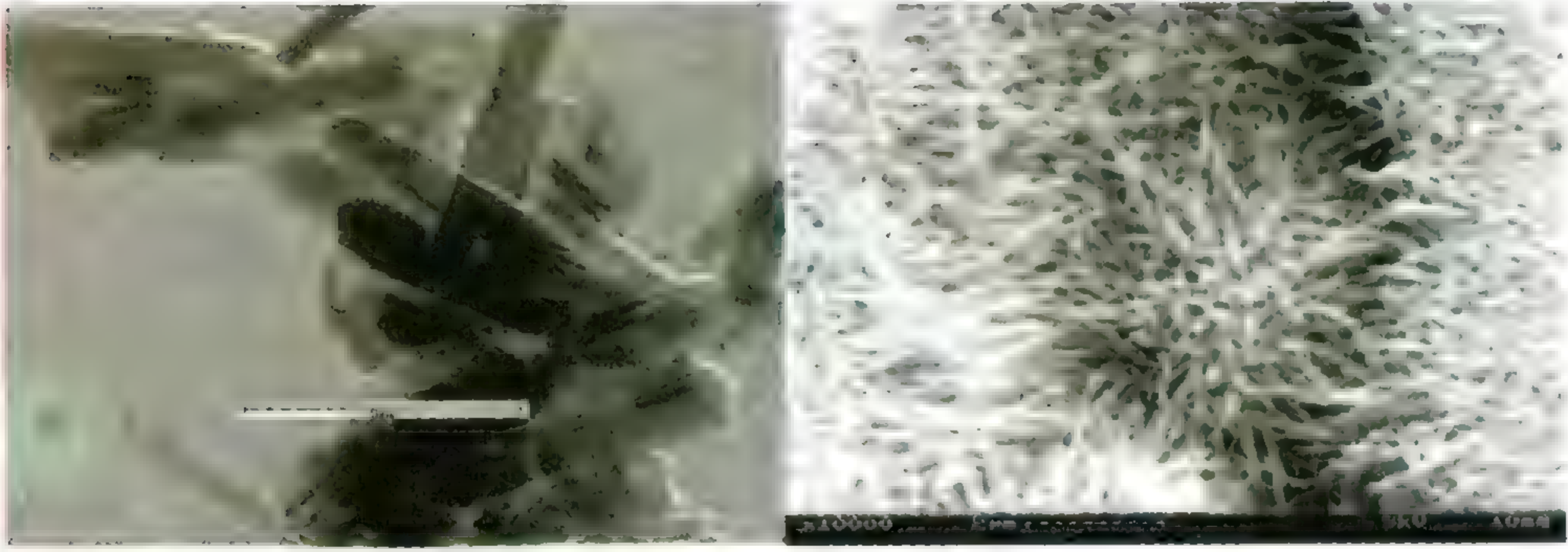
شكل ٦-٣٤: صورة بالميكروسكوب الإلكتروني
لكاولينيت جيد التبلور وتوضح الهيئة المنشورية والألواح
السداسية وإتجاهات المحاور البلورية

اللون أبيض ولكنه يتلون كثيراً تبعاً لنوع الشوائب الموجودة. البريق ترابي أو مطفى والملمس شحى أما الصفائح المتبلورة فبريقها لؤلؤى والمعدن نصف شفاف إلى معتم ومخدشه أبيض. الصلادة = ٢-٢,٥ والانقسام قاعدى كامل {001} والوزن النوعى = ٢,٦١-٢,٦٨. يوجد الكاولينيت عادةً في هيئة

كتل طينية الشكل إما أن تكون متماسكة أو هشة. يوضح الميكروسكوب الإلكتروني أن معادن الكاولينيت والديكيت والنكريت تتواجد في هيئة قشور رقيقة وصغيرة جداً معينة أو سداسية كاذبة (شكل ٦-٣٤). أما الهالوسيت فيوجد غالباً في هيئة طاولات (بيوتل سبيشير وماريل ١٩٦٨ Beutelspacher and Marel) أو في صورة ألياف لانتشية ألياف الأسبستوس ولكن أقرب إلى هيئة أنابيب (شكل ٦-٣٥). المعدن ثنائى المحاور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1,553 - 1,565$ وبيتا $\beta = 1,559$ - $1,569$ وجاما $\gamma = 1,560 - 1,70$. قرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0,006$ والزاوية البصرية $(2V) = 24-50^\circ$.

يظهر التحليل الحرارى للكاولينيت نتوئين ماصين للحرارة في مدى حرارى يتراوح ما بين $100-150^\circ\text{C}$ و $550-700^\circ\text{C}$ نتيجة خروج الماء

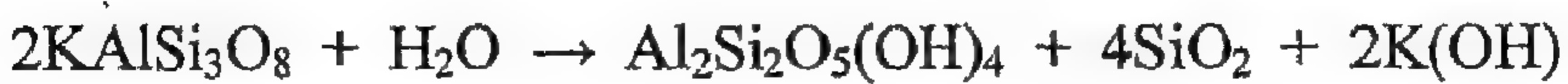
الممتص على أسطح الحبيبات ونتيجة خروج جزيئات الهيدروكسيل المتصلة بطبقة ثمانية الأوجه بترتيب خروجهما. ويظهر نتوء طارد للحرارة فسي المدى الحراري ٩٥٠-١٠٢٠°م نتيجة إعادة تبلور ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) أو تكوين الموليت Mullite (دويليت ونكولاس ١٩٦٩ Douillet and Nicolas وتودور ١٩٧٦ Todor). تتوقف درجة حرارة هذه التفاعلات الحرارية على حجم الحبيبات ودرجة تبلور المعدن، فتقل درجة الحرارة كلما قل الحجم وكلما قلت درجة التبلور.



شكل ٦-٣٥: الصورة اليمنى بالميكروسكوب الإلكتروني (SEM) توضح الهيئة الليفيّة للهالوسيت. الصورة اليسرى أكثر تكبيراً (TEM) وتوضح هيئة الأنابيب للهالوسيت.

التواجدات والصحبة المعدنية

تتكون مجموعة معادن الكاولينيت أساساً بواسطة المحاليل الحرمائية التي تعمل على تجوية معادن الفلسبار والفلسباتويد والمسكوفيت ومعادن سيليكاتية أخرى. يتم ذلك في ظروف الضغط والحرارة المنخفضة. ويتم تحول الفلسبار البوتاسي إلى الكاولينيت بتجوية شديدة للفلسبار حيث ينزع البوتاسيوم والسيليكا بالمحاليل طبقاً للمعادلة التالية:



هيدروكسيد بوتاسيوم سيليكا كاولينيت ماء فلسبار بوتاسي

فإذا كان إنتقال البوتاسيوم محدود لقلة صرف المياه، فعندئذ يتكون معدن الإليت وتشير الشواهد الحقلية إلى أن الكاولينيت إما أن يتكون بتجوية الصخور

النارية الحامضية (الجرانيت، الريوليت، السيانيت، إلخ) في مواقعها ويسمى بالكاولين الأولي أو يتكون بعمليات التجوية والنقل والترسيب ويسمى بالكاولين الثانوي الذي غالباً مايكون طبقات أو عدسات في التتابع الرسوبي. ومن المعادن المصاحبة: الكوارتز وأكاسيد الحديد والبيريت والسيدريت والمسكوفيت والمعادن الطينية الأخرى.

الاستخدامات

للكاولين خصائص فيزيائية وكيميائية تجعله يتفوق علي المعادن الأخرى مثل الكالسيت والتلك في صناعة الورق. من هذه الخصائص: ١- درجة البياض ٢- حجم الحبيبات ٣- شكل الحبيبات ٤- خلوه من الحبيبات الخشنة ٥- درجة اللمعان ٦- قابليته للطباعة Printability ٧- لزوجه مناسبة ٨- ثابت كيميائياً ولايتفاعل مع الكيماويات، لذا فالكاولين أكثر المعادن إستهلاكاً في صناعة الورق كمادة مألئة وأيضاً كمادة غطاء Coating.

إذا زادت نسبة أكاسيد الحديد أو السيليكا في الكاولين فإنه لا يصلح لصناعة الورق ويدخل في صناعات أخرى مثل صناعة السيراميك والمطاط والبلاستيك. بالإضافة إلي استعماله بكميات قليلة في صناعات مختلفة مثل صناعة الأسمنت الأبيض. تستخدم الطفلة الكروية (البولكلاي) في صناعة البورساليين والبلاط وتستخدم الطفلة الحرارية في صناعة الحراريات (براسد وآخرون ١٩٩١ Prasad et al.).

يتواجد في مصر أنواع مختلفة من الكاولين في عدة أماكن (سيناء - الصحراء الشرقية - أسوان). يوجد الكاولين في هضبة التيه في سيناء (٢٥ كم شمال شرق منطقة أبو زنيمة) ويبلغ الاحتياطي في هذه المنطقة حوالي ١٠٠ مليون طن). يوجد الخام في منطقة كلابشة بجنوب أسوان ويقدر الاحتياطي بـ ١٦,٤ مليون طن. كما يوجد في منطقة أبو الدرج غرب خليج السويس بكمية ودرجة جودة أقل من النوعين السابقين. كما توجد أنواع أخرى من الطفلات الحرارية مثل طفلة البولكلاي في خور أبو

صبيرة والطفلة الأسوانلى فى منطقة أبو الرايش شمال شرق أسوان (غبريال ٢٠٠٤). يوجد الكاولين فى المملكة العربية السعودية بكميات إقتصادية فى منطقة شرق الخرج خاصة خشم راضى وبالقرب من بريده (المساحة الجيولوجية السعودية ٢٠٠٦). كما يتواجد فى جبل شعبة والزبيرة ودرب سعد.

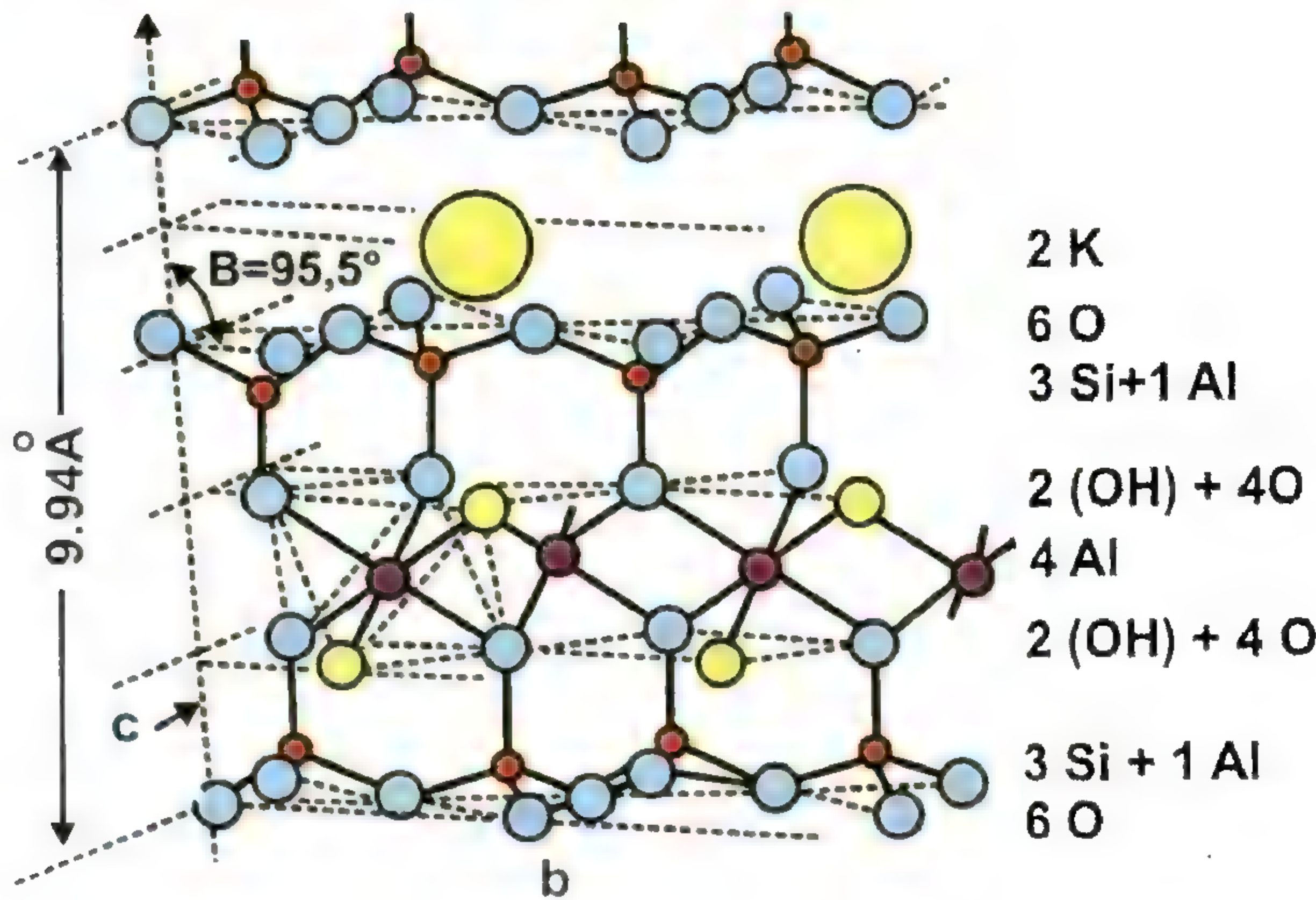
مجموعة الإليت Illite Group



تضم هذه المجموعة عدة معادن طينية شبيهة بالميك، ولكن تختلف عنها فى قلة إحلال الألومنيوم محل السيليكون وإحتوائها على جزيئات ماء أكثر وأيضاً بوجود الكالسيوم والماغنسيوم كإحلالات مكان جزء من البوتاسيوم. وتضم هذه المجموعة كل من الإليت والميكا المائية والجلوكونيت والفينجيت والبراماليت والسيلادونيت. ويعتبر البراماليت Brammallite أقل معادن الإليت انتشاراً ويمثل الصوديوم فيه الكاتيونات البينية.

البنية البلورية

يتبلور الإليت فى فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$ وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a=5.2$ ، $b=9.0$ ، c (المسافة البينية المتكررة) $=9.94$ أنجستروم (شكل ٦-٣٦). ويبلغ ماتملكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 1$. يشبه البناء البلورى للإليت البناء البلورى للميكا حيث يتكون من طبقة من الكاتيونات ثمانية التناسق محاطة كالسندوتش بطبقتين من رباعيات الأوجه $(Si,Al)O_4$ المتجه للداخل (شكل ٦-٣٦). ومعظم معادن الإليت ثنائي الثماني مثل معدن المسكوفيت والبعض ثلاثي الثماني مثل البيوتيت. ويختلف الإليت عن المسكوفيت بإحتوائه على كاتيونات بينية أقل لذلك فالروابط بين الطبقات أضعف. تحتوى معادن الإليت أيضاً على كمية ضئيلة جداً من الماء بين الطبقات كما لا يُخترق بناءها البلورى بالمواد العضوية. لا تتأثر المسافة البينية إذا سُخن المعدن لدرجة 500°C . لا يظهر معدن الإليت الخالي من الهالوسيت والمونتموريلونيت والفيرميكيوليت أى درجة من الإنتفاش عندما يعالج بالجليكول.



شكل ٦-٣٦ : البنية البلورية للإليت

كيمائية المعدن

الفينجيت أكثر معادن الإليت إحتواءً على البوتاسيوم. يطلق على هذه النوعية أحياناً سيريسيت. والسيريسيت يوصف بالميكالبيضاء دقيقة الحبيبات. يمنع وجود قدر كافي من البوتاسيوم بين الطبقات دخول الماء أو السوائل العضوية أو الكاتيونات في البناء البلوري للإليت (جدول ٦-١٢). لذلك يتميز الإليت بأقل درجة من تبادل الكاتيونات والتبادل الذي يحدث غالباً عند الحواف البلورية مثل ما يحدث في معدن الكاولينيت وقدرة تبادل الكاتيونات في الإليت تتراوح ما بين ١٠ إلى ٤٠ مول مكافئ/١٠٠ جرام وهي أعلى من الكاولينيت وأقل من قدرة كل من الهالوسيت والمونتموريللونيت والفيرميكيوليت. توجد معادن الإليت في التربة غالباً على هيئة متحللة تتسم بنقص في البوتاسيوم وهي قابلة لإمتصاصه مرة أخرى من الأسمدة.

تشير منحنيات التحليل الحراري للإليت إلى وجود ثلاث نتوءات ماصة للحرارة، الأولى عند درجة حرارة ١٠٠-٢٠٠ م° والتي تمثل خروج الماء الممتص أو غير المتبلور والثانية عند درجة حرارة ٥٥٠-٦٥٠ م° والتي

تمثل نزع مجموعات الهيدروكسيل والأخيرة عند درجة حرارة ٨٥٠-٩٥٠ °م وتمثل تشوه البناء البلوري المتبقي. يتبع ذلك نتوء طارد للحرارة عند درجة حرارة ٩٠٠-١٠٠٠ °م نتيجة تكون معدن السبينل.

جدول ٦-١٢: التحليل الكيميائي لمعدن الإليت

الأكسيد	١	٢
SiO ₂	٥٦,٩١	٥١,٢٦
TiO ₂	٠,٨١	٠,٠٥
Al ₂ O ₃	١٨,٥٠	٣٠,١٥
Fe ₂ O ₃	٤,٩٩	٢,٣٦
FeO	٠,٢٦	٠,٥٩
MnO	—	٠,٠٤
MgO	٢,٠٢	١,٣٧
CaO	١,٥٩	٠,٠٠
Na ₂ O	٠,٤٣	٠,١٣
K ₂ O	٥,١٠	٧,٧٧
H ₂ O ⁺	٥,٩٨	٦,٢٨
H ₂ O ⁻	٢,٨٦	٠,٠٠
المجموع	٩٩,٥٠	١٠٠

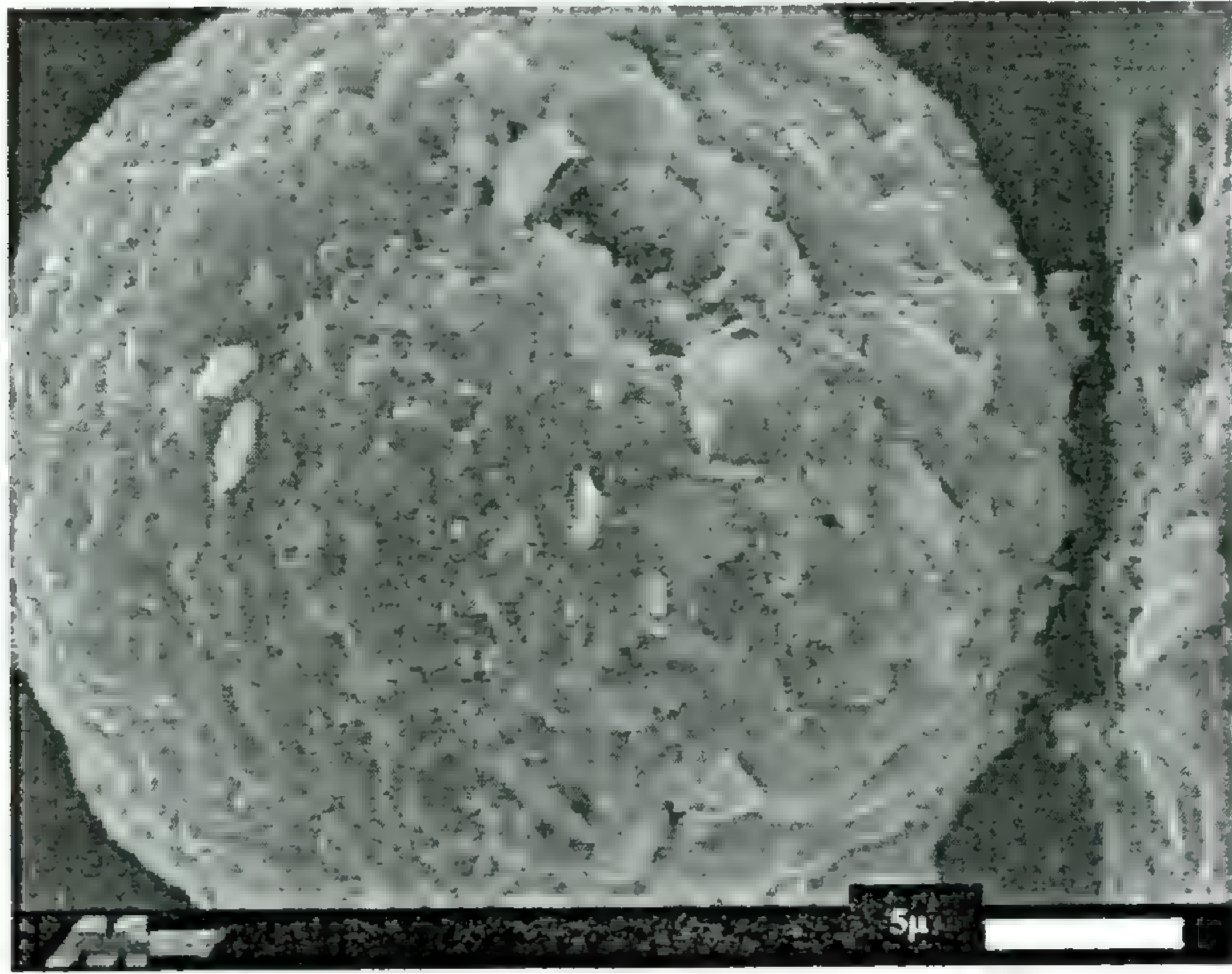
١- الإليت - فيثيان - أليوس (كير وآخرون ١٩٥٠).

٢- قشور من الإليت على جرانيت متحلل - بولاتر أبيردنشير - (ماكنزي وآخرون ١٩٤٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن النقي أبيض اللون لكن وجود الشوائب يُكسب المعدن ألوان عديدة، مثل اللون الأصفر من أكاسيد أو هيدروكسيدات الحديد ومن الألوان الأخرى الأخضر والبني. والإليت عديم اللون في القطاعات الرقيقة وبريقه ترابي والمخدش أبيض. الصلادة = ١ - ٢ والانقسام قاعدي كامل {001} والوزن النوعي = ٢,٦ - ٢,٩. يعطى المعدن مدى واسع في معاملات الانكسار

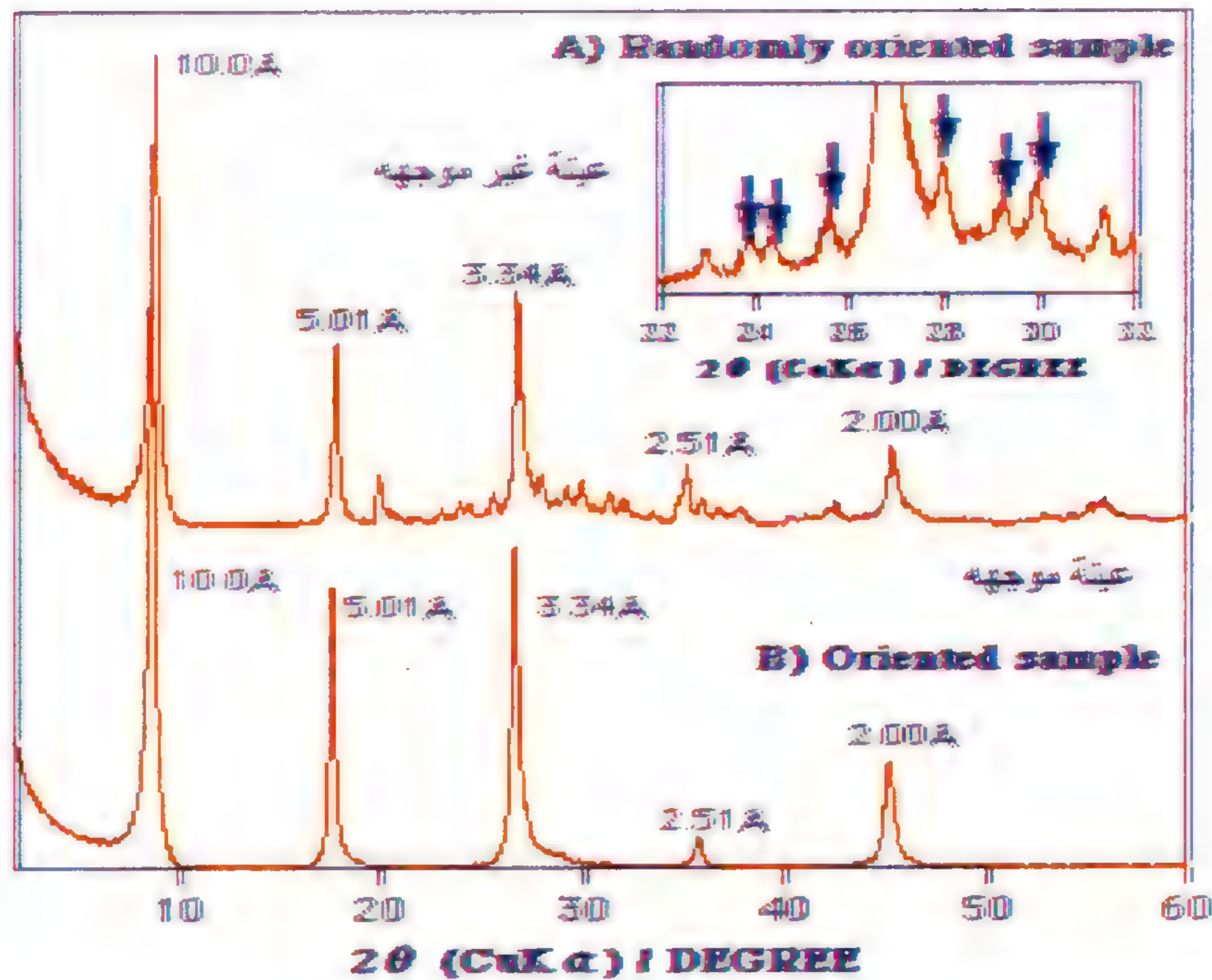
وذلك بسبب عمليات الإحلال ودرجة التميؤ والتداخل مع معادن أخرى. وعادة تزداد معاملات الانكسار بزيادة نسبة الحديد، وهي كالأتي ألفا $(\alpha) = 1.54 - 1.57$ وبيتا $(\beta) = 1.57 - 1.61$ وجاما $(\gamma) = 1.57 - 1.61$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.03$ والزاوية البصرية $(2V)$ أقل من 90° . لا يمكن التعرف على المعدن باستخدام الطرق البصرية وذلك لصغر حجم الحبيبات. ولإتمام ذلك يجب إجراء عمل متكامل يشمل تحليل كيميائي ودراسات بالميكروسكوب الإلكتروني أو المسبار الإلكتروني (شكل ٦-٣٧) وتحليل حراري وتحليل الحيود بالأشعة السينية للعينات قبل وبعد معالجتها بالجليكول والتسخين. يمتاز المعدن بإنعكاسات قوية للأشعة السينية عند المسافات ١٠ ، ٥.٠١ أنجستروم (شكل ٦-٣٨).



شكل ٦-٣٧: صورة بالمسبار الإلكتروني توضح صفائح من معدن الإليت.
<http://www.eytonsearth.org/clay-chemistry.php>

التواجدات والصحبة المعدنية

يتكون الإليت بالترسيب وتجوية المعادن السيليكاتية كالفلسبارات، لكن في بعض الأحيان يتكون بعمليات تحوّل للمعادن الطينية الأخرى. وقد يتكون الإليت من تحلل المسكوفيت أو إعادة التبلور من الرواسب الغروية في



شكل ٦-٣٨: نموذج حيود الأشعة السينية للإليت

الظروف المناسبة. وقد يكون أصل الإليت من التجوية بفعل المحاليل الحرمائية وغالباً مايتكون المعدن في المناطق حول الينابيع الحارة والعروق الحاملة للفلزات. تمثل معادن الإليت أغلب المعادن الطينية في الطفلة والحجر الطيني وتوجد أيضاً في بعض الرواسب الأخرى مثل الحجر الجيري. تشير الدراسات العملية إلى أن معادن الإليت الرسوبية أو الحرمائية الأصل تتكون في ظروف قلوية وفي وجود تراكيزات عالية من الألومنيوم والبوتاسيوم.

المونتموريللونيت (السميكتيت) Montmorillonite (Smectite)



يرجع اسم المونتموريللونيت إلى مقاطعة مونتموريلن Montmorillon بفرنسا حيث يوجد المعدن الطيني بتركيب كيميائي مشابه للبيريوفيليت عدا إحتوائه على مزيد من الماء $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4.n\text{H}_2\text{O}$. عند حدوث تغيرات

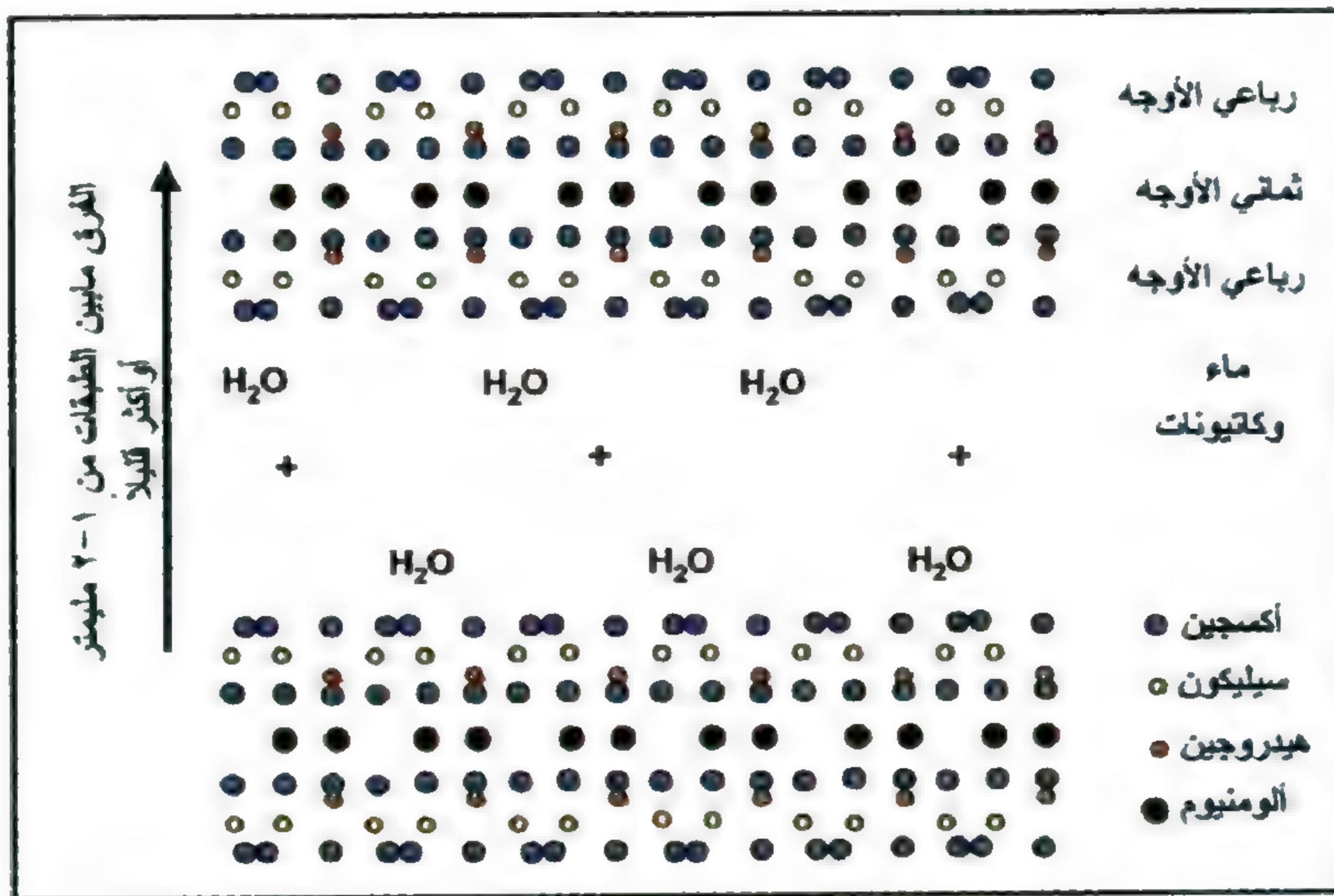
كيميائية في تلك الصيغة الأساسية تتكون مجموعة من المعادن الطينية تنتمي إلى بناء بلوري معين وتتميز بأن لها صفات كيميائية وفيزيائية متشابهة، تسمى بمجموعة المونتموريللونيت. معدن المونتموريللونيت هو أحد أعضاء هذه المجموعة وله الصيغة الكيميائية $(\text{Na})_{0.7}(\text{Al}_{3.3}\text{Mg}_{0.7})\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ويسمى أيضاً سميكتيت وهو الاسم المأخوذ لوصف المجموعة ككل (ماكينزي ١٩٥٧ Mackenzie). تحتوي هذه المجموعة على المعادن الأساسية الأتية: المونتموريللونيت Montmorillonite والبيديليت Beidellite والننترونيت Nontronite والصابونيت Saponite والهيكتوريت Hectorite والساكونيت Sauconite. المعادن الثلاثة الأولى ذات بنية بلورية من النوع ثنائي الثماني التي تشابه الصيغة الكيميائية والبناء البلوري للبيروفيليت. بينما الثلاث معادن الأخرى فهي ذات بنية بلورية من النوع ثلاثي الثماني التي تشابه الصيغة الكيميائية والبناء البلوري لتلك. تمتاز جميع هذه المعادن بخاصية الإنتفاش حيث أنها قادرة على إحتواء الماء والسوائل العضوية بين صفائحها البنائية كما تتميز بخاصية التبادل الكاتيوني.

البنية البلورية

يتبلور المونتموريللونيت في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 0.51$ ، $b = 0.89$ ، $c = 0.15$ أنجستروم. يشابه البناء البلوري لمعدن المونتموريللونيت مثله في البيروفيليت الذي يتكون من طبقات متتالية كل منها يحتوى على طبقتين من رباعيات الأوجه المتصلة والمتجهة للداخل (SiO_4) ، تحصر فيما بينهما طبقة من الجيبسيت $[\text{Al}_2(\text{OH})_6]$. تستبدل في الجيبسيت إثنين من كل ثلاثة أيونات هيدروكسيل بذرات أكسجين طرفية من رباعيات الأوجه المكونة للنموذج الشبكي السداسي الكاذب (شكل ٦-٣٩). يحدث استبدال في البيروفيليت لكل من أيونات السيليكون والألومنيوم لذلك فالطبقات المركبة متعادلة كهربائياً ولا يوجد كاتيونات بينها. أما في معادن السميكتيت فتتسبب شحنة نتيجة إحلال يتم في مواقع ثمانية ورباعيات الأوجه. وتتعادل هذه

الشحنة بوجود عدد قليل من الكاتيونات البينية عادةً ما تكون صوديوم وكالسيوم.

هذه المعادن شربة لإمتصاص الماء بين طبقاتها البنائية فتكون طبقات كاملة من جزيئات الماء التي تترتب بنظام معين بالنسبة للنموذج الشبكي لطبقات رباعيات الأوجه المجاورة. يتأثر عدد طبقات الماء البينية إلى حد ما بطبيعة الكاتيونات البينية، فالمونتموريللونيت الكالسي (الأوسع انتشاراً في الطبيعة) عادةً يمتلك طبقتين في الوحدة البنائية والمسافة بين الطبقات (d_{001}) حوالي ١٥,٥ أنجستروم والنوع الصودي به طبقة واحدة من جزيئات



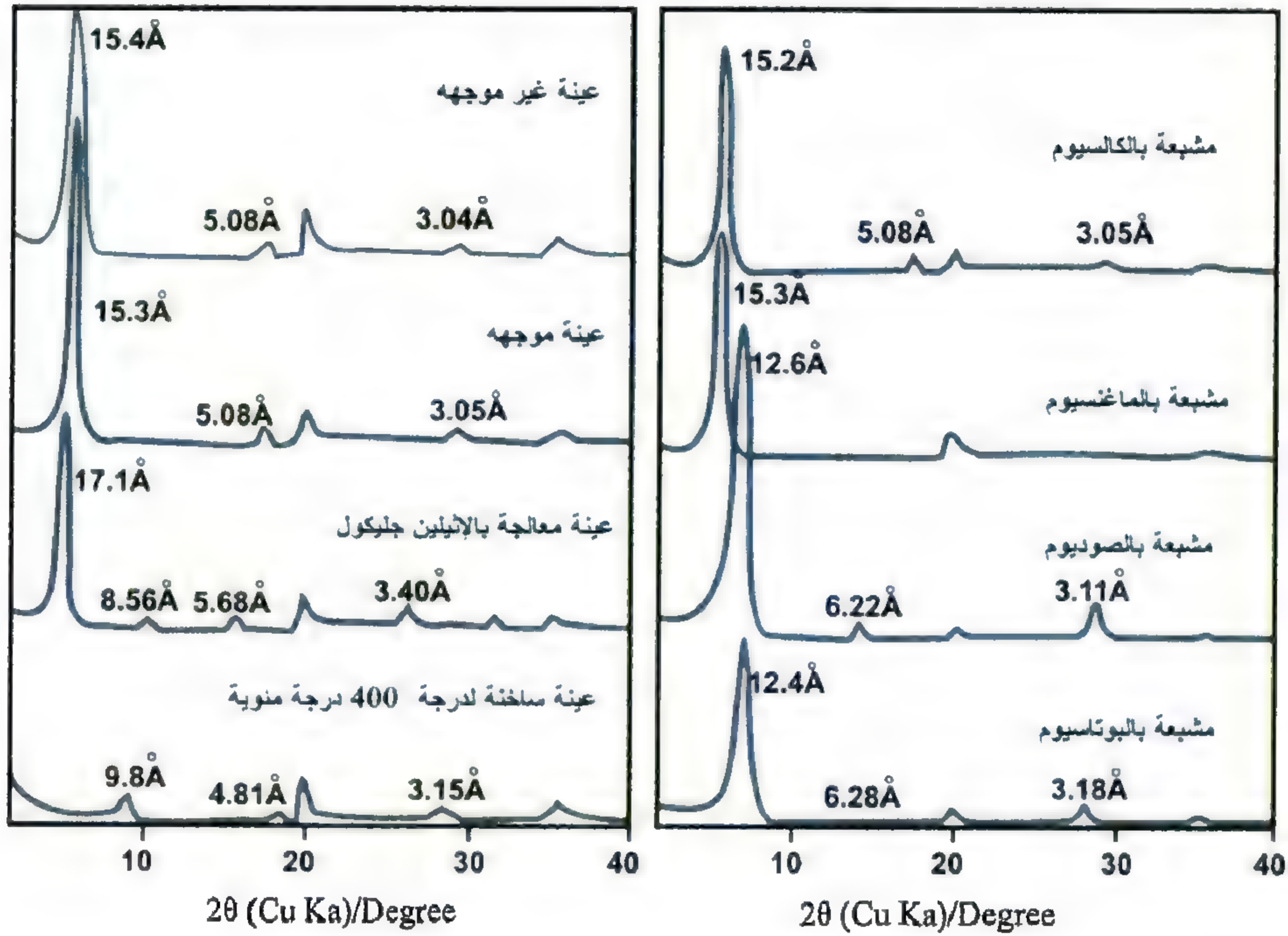
شكل ٦-٣٩: البناء البلوري للمونتموريللونيت.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Montmorillonite-en.svg>

الماء ($d_{001} \approx 12,5$ أنجستروم) أو طبقتين ($d_{001} \approx 15,5$ أنجستروم) أو ثلاث ($d_{001} \approx 19$ أنجستروم) أو أكثر لكل وحدة بنائية .

يشابه نموذج حيود الأشعة السينية لمعدني المونتموريللونيت (شكل ٦-٤٠) والصابونيت الفاقد للماء نموذج حيود الأشعة السينية لكل من معدني البيروفيلايت والتلك، على الترتيب. تفقد معادن السميكتيت ماءها البلوري بالتسخين لدرجة حرارة ١٠٠-٢٠٠°م وتتغير المسافة (d_{001}) من ١٢-١٥ أنجستروم إلى ١٠ أنجستروم وبزيادة التسخين إلى ٥٠٠°م تقل هذه المسافة

أكثر لتتراوح ما بين ١٠ الى ٩,٦ أنجستروم اعتماداً على طبيعة الكاتيونات البينية.



شكل ٦-٤: نموذج حيود الأشعة السينية للمونتموريللونيت

كيميائية المعدن

تشبه الصيغة الكيميائية لكل معادن المونتموريللونيت صيغة تلك أو البيروفيلايت $(1/2\text{Ca}, \text{Na})_{0.7}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_4[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4.n\text{H}_2\text{O}$ ، ولكن مع إحلال أيونات رباعيات الأوجه وثمانيات الأوجه بأيونات أقل في التكافؤ ويصاحب ذلك إضافة عدد مكافئ من الكاتيونات ما بين الطبقات البنائية. يحدث الإحلال في المونتموريللونيت والهيكتوريت في مواقع ثمانية الأوجه، حيث يستبدل الألومنيوم بالماغنسيوم، والماغنسيوم بالليثيوم. أما في البيديلايت والنترونيت والصابونيت يحدث الاستبدال في مواقع رباعيات الأوجه، حيث يستبدل السيليكون بالألومنيوم (جدول ٦-١٣).

جدول ٦-١٣: نماذج من التحاليل الكيميائية لبعض معادن السميكتيت

الأكسيد	١	٢	٣	٤
SiO ₂	٥١,١٤	٤٥,٨٢	٤٣,٦٢	٥٤,١٥
TiO ₂	—	٠,٤٦	٠,٠٠	٠,٠٣
Al ₂ O ₃	١٩,٧٦	٢٢,٧٩	٥,٥٠	٢٢,٠٠
Fe ₂ O ₃	٠,٨٣	٥,٧١	٠,٦٦	٥,٥٧
FeO	—	٠,٢٨	—	—
MnO	—	—	٠,٠٦	٠,٠٢
MgO	٣,٢٢	٠,٨٦	٢٤,٣٢	٠,٤٢
CaO	١,٦٢	١,٤١	٢,٨٥	٠,٥٥
Na ₂ O	٠,١١	٠,١٦	٠,٠٨	٢,٠١
K ₂ O	٠,٠٤	٠,٠٩	٠,٠٤	٠,٩٤
H ₂ O ⁺	٧,٩٩	٩,٧٩	٥,٤٨	١٤,١٠
H ₂ O ⁻	١٤,٨١	١٢,٥٥	١٧,٤٢	—
الاجمالي	٩٩,٥٢	٩٩,٩٣	١٠٠,٠٣	٩٣,٦٩

١- مونتوريلاينيت بنفسجي من الطفلة - مونتوريلاين - فرنسا (روس وهندريكس ١٩٤٥)

٢- بيديليت - فيلكاكوبان - أوكرانيا (روست ١٩٤٤)

٣- صابونيت ازرق فاتح - صخور بركانية - ألت ريبين - اسكتلندا (ماكزي ١٩٥٧)

٤- بنتونيت - منطقة الفيوم - مصر - (الوكيل وآخرون Al-Wakeel et al. in press)

يوجد في البيديلايت والننترونيت بعض الماغسيوم في ثمانية الأوجه لذلك يكون كل من المونتوريلاونيت - البيديلايت - الننترونيت سلسلة محاليل صلبة متصلة. من جهة أخرى، يستبدل في الهيكثوريت الهيدروكسيل بالفلورين. وقد يوجد بعض الفلزات الإنتقالية مثل الزنك في ثمانية الأوجه كما في الساكونيت. يتحكم بشكل عام كل من التبادل الأيوني ونوع الجزيئات البينية في كيميائية المعدن:

التبادل الأيوني Ion exchange: يحدث التبادل الأيوني في معادن السميكتيت بسبب عدم إتزان شحنة الصفائح البنائية. ويحدث التبادل الأيوني أساساً لكل من الصوديوم والكالسيوم. تعتمد قدرة التبادل الأيوني Ion exchange capacity (IEC) على حجم الحبيبات وطبيعة الكاتيونات، وعادةً تقدر قدرة التبادل الأيوني في المدى من ٨٠-١٥٠ ميلي مكافئ/١٠٠ جرام.

الجزيئات البينية Interlayer molecules: تعتمد كمية الماء الممتصة في المسافات البينية على نوع السميكتيت وطبيعة الكاتيونات البينية والظروف المحيطة. يأخذ المونتموريللونيت الكلسي عادةً طبقتين من جزيئات الماء في المسافة الواحدة، بينما يأخذ المونتموريللونيت الصودي كميات مختلفة ويظهر أعلى قدر من الانتفاش Swelling. ويسبب هذا الانتفاش العديد من المشاكل الهندسية للأبنية والمنشآت المقامة على التربة الطفالية.

الصفات الفيزيائية والبصرية

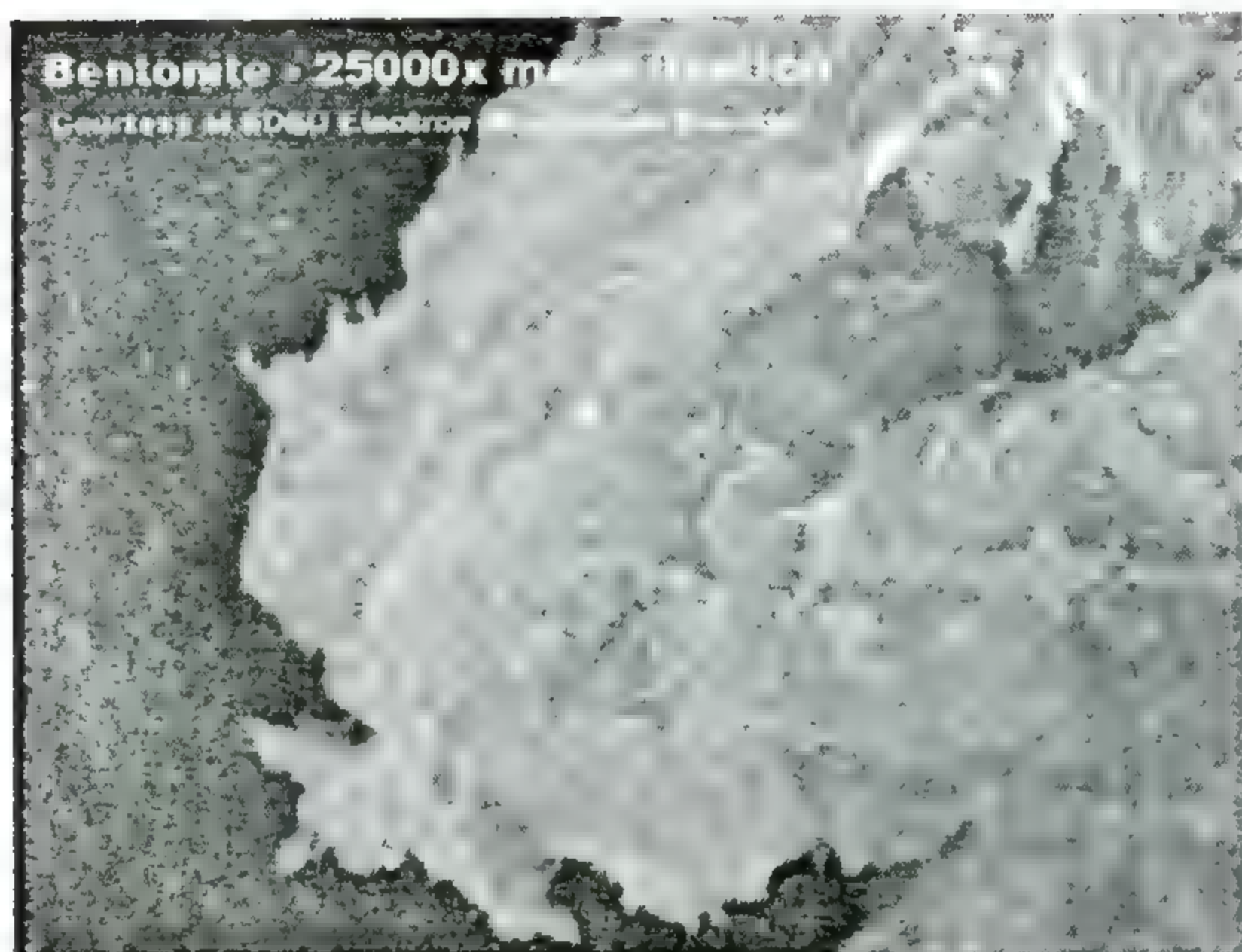
اللون غالباً أبيض، وقد يكون بنفسجي أو لحمي أو رمادي أو بني فاتح. ويكون معدن الننترونيت في العادة ذو لون أخضر فاتح. البريق ترابي والمخدش أبيض. الصلادة = ١-١,٥ والإنفصام قاعدي موازي للمستوى {001} والوزن النوعي = ٢,٤-٢,٧ ويتأثر بوجود الماء. يوضح الميكروسكوب الإلكتروني أن معادن السميكتيت تأخذ شكل تجمعات من حبيبات دقيقة قد تكون في شكل ديدان أو مرتبة في طبقات رقيقة أو شعاعية. تتغير الخصائص البصرية لمعادن السميكتيت نتيجة تغير التركيب الكيميائي ودرجة التميؤ. يوضح جدول (٦-١٤) متوسط المعاملات البصرية لمعادن السميكتيت. تعتمد معاملات الانكسار قليلاً على إحلال السيليكون-الألمونيوم أو الألمونيوم-الماغنسيوم. لكن تعتمد بقدر أكبر على نسبة الحديد وتزداد معاملات الانكسار بفقد الماء الموجود ما بين الطبقات. جميع معادن السميكتيت سالبة بصرياً والمعادن الملونة تظهر تغير لوني ضعيف.

جدول ٦-١٤: الخصائص البصرية لمعادن السميكتيت

المعدن	ألفا (α)	جاما = بيتا ($\beta = \gamma$)	الزاوية البصرية ($2V$)
سلسلة المونتموريللونيت - بيديليت	١,٥٧-١,٤٨	١,٦-١,٥	٠-٣٠°
نونترونيت Nontronite	١,٦١-١,٥٦	١,٦٤-١,٥٧	٢٥-٧٠°
صابونيت Saponite	١,٥٣-١,٤٨	١,٥٩-١,٥	متوسطة
هكتوريت Hectorite	١,٤٩	١,٥٢	صغيرة
ساكونيت Sauconite	١,٥٨-١,٥٥	١,٦٢-١,٥٩	صغيرة

التواجدات والصحة المعدنية

يعتبر المونتموريللونيت والبيديليت المكونات الأساسية لرواسب البنتونيت (شكل ٦-٤١). وتتكون هذه الرواسب بواسطة عمليات تجوية للصخور البركانية خاصة الرماد البركاني ويصاحب ذلك كميات مختلفة من الكريستوباليت والزيوليت والبيوتيت والكوارتز والفلسبار والزركون. يكون المونتموريللونيت رواسب طينية تسمى فيلر إيرث (Fuller's earth) وهي رواسب ذات قدرة إمتصاص عالية ومعظم هذه الرواسب تكونت بتجوية الصخور النارية المافية كما في أوروبا. يوجد السميكتيت كناتج تجوية بفعل المحاليل الحرمائية حول الرواسب أو العروق الحاملة للفلزات وبالقرب من عيون الينابيع الحارة Hot springs and geysers. ويوجد أيضاً السميكتيت بانتشار واسع مختلطاً مع الإليت في التربة والطفلة التي تتكون بتجوية الصخور المافية حين يكون صرف المياه قليلاً فلا ينتقل الماغنسيوم وهو العنصر الأساسي في تكوين طفلة المونتموريللونيت. في حالة وجود صرف جيد وإزالة للماغنسيوم يتكون الكاولينيت. من العوامل الأخرى المؤثرة في تكوين السميكتيت وجود بيئة قلوية ووفرة في الكالسيوم وقلة في البوتاسيوم. يوجد الصابونيت أساساً مصاحباً للعروق الحرمائية وأيضاً في الفجوات اللوزية في البازلت. يوجد الننترونيت في كل من العروق مصاحباً للأوبال والكوارتز وكناتج تجوية الزجاج البركاني.



شكل ٦-٤: صورة بالمسبار الإلكتروني توضح صفائح من البنتونيت. (تكبير ٢٥٠٠٠ مرة)
<http://www.cytosearch.org/clay-chemistry.php>

يوجد البنتونيت في مناطق مختلفة من العالم ويتبع عصور مختلفة وبيئات تحول مختلفة. ففي مصر وباكستان حيث بيئة البحيرات واللاجون وفي الولايات المتحدة يوجد البنتونيت بكميات إقتصادية في وايومنغ وتكساس حيث البيئة البحرية الضحلة. ويوجد في كندا ونيوزلندا

ويوغسلافيا حيث البيئة النهرية، وفي استراليا حيث البيئة الصحراوية. يوجد البنتونيت في العالم العربي في عدة بلدان، ففي المملكة العربية السعودية يتواجد في منطقة خليص شمال جدة. وفي مصر يتواجد في مناطق مختلفة منها منخفض الفيوم وجنوب العلمين ووادي النطرون بالصحراء الغربية ومنطقة عيون موسى - سدر بسيناء. يوجد في الجزائر بالقرب من مستاجانم وفي منطقة أوران (ديلابارينت ١٩٣٧ DeLapparent وسادران وآخرون ١٩٥٥ Sadran et al.). كما يوجد في عدة مواقع بمنطقة توريرت بالمغرب (فري وآخرون ١٩٦٢ Frey et al.).

الاستخدامات

هذه المجموعة من المعادن مفيدة مثلها مثل المعادن الطينية الأخرى في صناعة السيراميك وسوائل الحفر والمواد المألئة في صناعة الورق والمطاط والدهانات. يمتاز البنتونيت بدرجة إمتصاص عالية للزيوت والسوائل ودرجة انتفاش تصل إلى ١٨ ضعف (في حالة البنتونيت الصوديومي). يستعمل البنتونيت بكميات كبيرة في طفلة الحفر وتكوير الحديد وتقطير الزيوت وإزالة الألوان وصناعة الصابون ومواد التجميل. وتزداد أهمية البنتونيت يوماً بعد يوم في الطب وخاصة الطب البديل فيستعمل من الخارج في

إمتصاص الإشعاع وعلاج الروماتيزم ونظافة الجلد. ومن الداخل لإزالة العناصر السامة والملوثات ونظافة القناة الهضمية.

الفيرميكيوليت Vermiculite

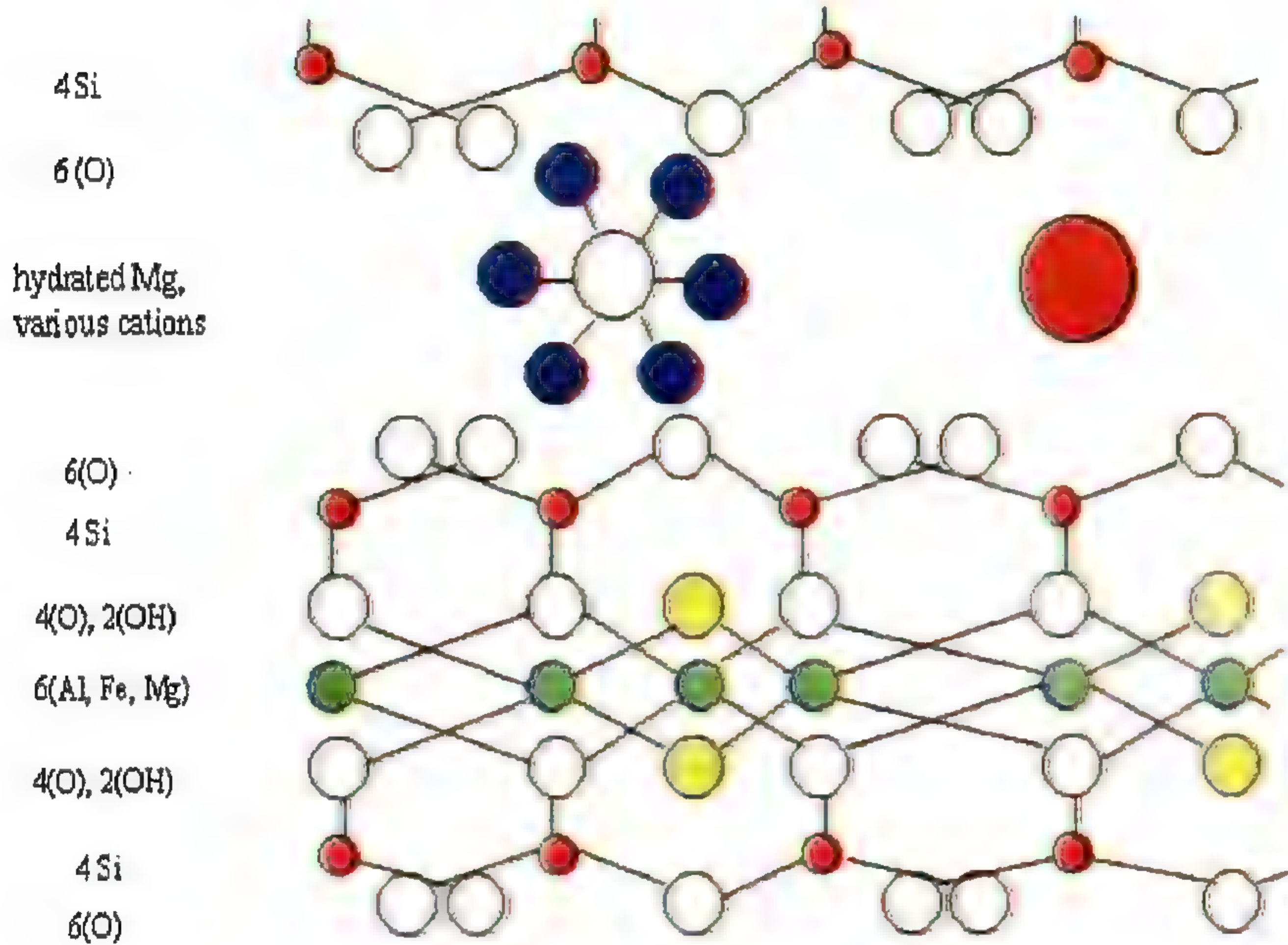


يعد الفيرميكيوليت أحد معادن الميكا أو عضو ثلاثي الثماني في مجموعة المونتموريللونيت، ونظراً لصفاته الخاصة سيتم عرضه منفصلاً. يرجع اسم الفيرميكيوليت إلى خاصية المعدن حيث يأخذ شكل الديدان. Verms وذلك عندما يسخن ببطء، وعندما يسخن بسرعة ينفصل المعدن إلى صفائح خفيفة ذات خواص جيدة عازلة للحرارة والصوت.

البنية البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد. مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$. تتبع البنية البلورية للفيرميكيوليت البناء ١:٢ (T-O-T) (شكل ٦-٤٢) ويشابه البنية البلورية للتلك، حيث يحتوي على طبقة وسطى تتميز بتناسق ثماني من أيونات الحديد والماغنسيوم، تقع بين طبقتين من رباعيات الأوجه المتصلة وتتجه فيها ذرات الأكسجين الطرفية إلى الداخل. يمكن اعتبار الجزء الأوسط من تلك الطبقة المركبة مكوناً من بروسيت فيه إثنين من أيونات الهيدروكسيل الثلاثة علي كل جانب وقد حل مكانهما إثنان من الأكسجين في رباعيات الأوجه (SiO_4). تكون الطبقات في معدن التلك متعادلة كهربائياً ولا توجد كاتيونات بين الطبقات، لذلك إرتباط الطبقات ضعيف. ويوجد اختلافات أساسية في الفيرميكيوليت تتركز في: (١) - إحلال الألومنيوم (Al^{+3}) محل السيليكون (Si^{+4}) ويعادل فرق الشحنة بوجود كاتيونات من الماغنسيوم بين الطبقات (٢) - وجود جزيئات ماء بين الطبقات وتسمى جزيئات الماء التي لا تحيط بكاتيون الماء الحر Unbound water molecules، وتخرج هذه الجزيئات من البناء البلوري عند إرتفاع بسيط في درجة حرارة المعدن يصل إلى حوالي ١١٠ °م. المسافة القاعدية في الظروف العادية حوالي ١٤,٨ أنجستروم. مع إرتفاع أكثر في درجة

الحرارة، يحدث تغيرات متتالية في المسافة القاعدية فتقل لتصبح ١٣,٨ ثم ١١,٦ ثم ٩ أنجستروم (دير وآخرون ١٩٩٢). بينما يزداد سمك صفيحة المعدن أى يتمدد بإضافة الماء أو الجليكول لكن بدرجة أقل من المونتموريللونيت. كما أن المسافة البينية (d_{001}) تتغير بتغير نوع الكاتيونات في الفيرميكيوليت (شكل ٦-٤٣). أبعاد خلية الوحدة أ = ٥,٣ ، ب = ٩,٢ ، ج = ٢٩ أنجستروم. وتساوى زاوية $(\beta) = 97^\circ$. يبلغ عدد ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 2$.

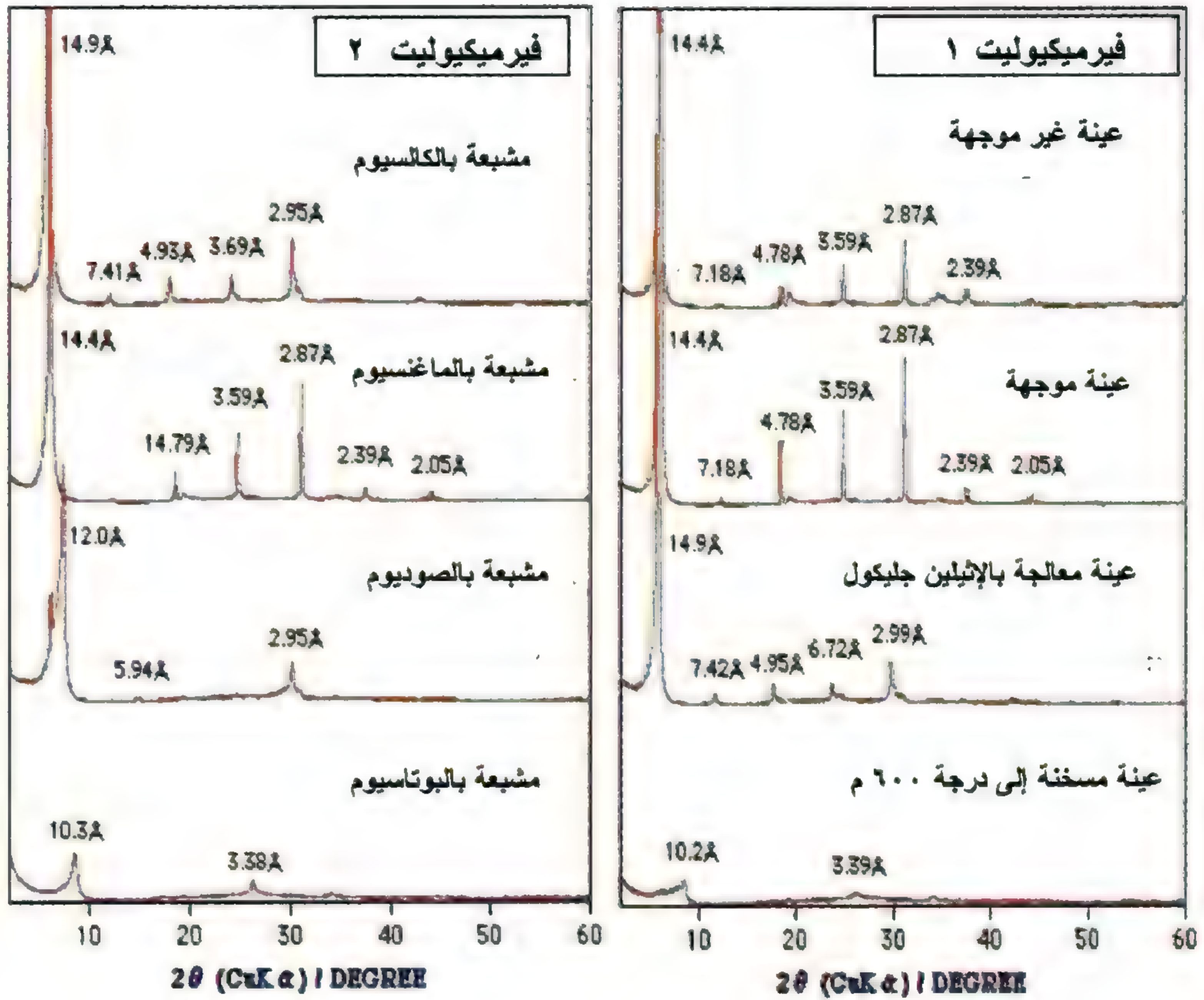


شكل ٦-٤٢: البناء البلوري للفيرميكيوليت

<http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/vermiculite.gif>

كيميائية المعدن

يشبه تركيب المعدن التركيب الكيميائي للمنتموريللونيت ثلاثي الثماني، حيث أن كل منهما يتكون من طبقات تتعادل فيها الشحنات الموجبة بوجود بعض الكاتيونات البينية. يحدث إحلال للسيليكون بأى من الألومنيوم أو الحديد أو كليهما. بينما تملأ مواقع ثمانية الأوجه بالماغنسيوم أو الحديد



شكل ٦-٤٣: نموذج حيود الأشعة السينية للفيرميكيوليت

الثنائي، وقد يحدث إحلال بالألمنيوم والحديد الثلاثي. تتنوع الكاتيونات البينية فهناك فيرميكيوليت غني بالماغنسيوم أو الكالسيوم أو الصوديوم أو البوتاسيوم أو الروبيديوم أو الباريوم أو الليثيوم. يوضح جدول (٦-١٥) التحليل الكيميائي لمعدن الفيرميكيوليت الماغنيسيومي من كينيا (دير وآخرون ١٩٩٢) والتركيب النموذجي للمعدن مأخوذ من الجمعية العلمية للفيرميكيوليت.

جدول ٦-١٥: التحليل الكيميائي لمعدن الفيرميكيوليت.

الأوكسيد	١	٢
SiO ₂	٣٤,٠٤	٤٦-٣٨
Al ₂ O ₃	١٥,٣٧	١٦-١٠
Fe ₂ O ₃	٨,٠١	١٣-٦
MgO	٢٢,٥٨	٣٥-١٦
CaO	٠,٠٠	٥-١
Na ₂ O	٠,٠٠	-
K ₂ O	٠,٠٠	٦-١
H ₂ O ⁺	١٩,٩٣	١٦-٨
عناصر أخرى	-	١,٢-٠,٢
المجموع	٩٩,٩٣	١٠٠,٠٠

١- تحليل للفيرميكيوليت من كينيا (مانيسون وواكر ١٩٥٤)

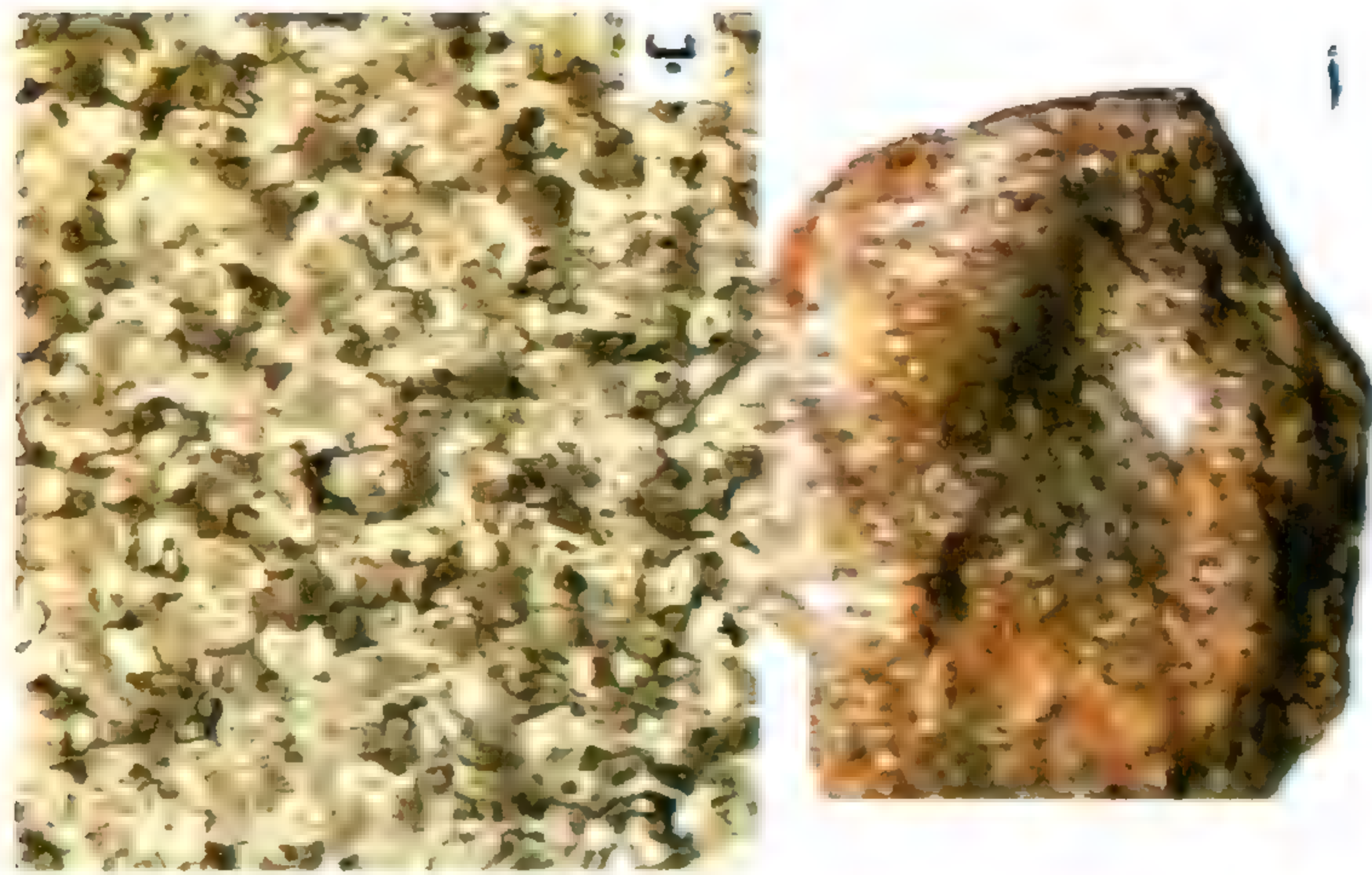
٢- التركيب النموذجي للفيرميكيوليت

<http://www.vermiculite.org/properties.htm>

الصفات الفيزيائية والبصرية

الفيرميكيوليت عديم اللون أو أصفر أو أخضر أو بني وعادة المعدن عديم اللون في المقاطع الرقيقة. تصل الصلادة إلى ١,٥ والإنقسام قاعدي كامل {001} والوزن النوعي = ٢,٣. يوجد المعدن في صورة حبيبات دقيقة الحجم في التربة بينما يوجد النوع المتكون بتجوية البيوتيت في صورة بلورات كبيرة. يظهر المعدن تغير في الخصائص البصرية نتيجة لتغير التركيب الكيميائي. المعدن ثنائي المحور سالب ويبلغ معاملات انكساره ألفا (α) = ١,٥٢٥ - ١,٥٦٤ وبيتا (β) = ١,٥٤٥ - ١,٥٨٣ وجاما (γ) = ١,٥٤٥ - ١,٥٨٣. قرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٢ - ٠,٠٣ والزاوية البصرية ($2V$) = ٠ - ٨°. إذا سخن الفيرميكيوليت ببطء يأخذ شكل الديدان شكل (٦-٤٤). لكن إذا سخن بسرعة يحدث له تورق وينفصل إلي صفائح تعمل علي

تمدد المعدن لمسافة قد تصل إلى ٣٠ ضعف في اتجاه عمودي على مستوى الإنفصام. منحنيات المعالجة الحرارية للمعدن تشير إلى وجود ثلاث نتوءات رئيسية ماصة للحرارة نتيجة خروج الماء البيني في درجة حرارة تتراوح بين ١٠٠-٣٥٠°م، وإثنين آخرين نتيجة تشوة البناء البلوري بخروج أيونات الهيدروكسيل، يتوسطهم نتوء طارد للحرارة في المدى ٨٠٠-٩٠٠°م. يحدث النتوء الطارد للحرارة نتيجة تكون الإنستاتيت (تودور ١٩٧٦ Todor).



شكل ٤٤-٦: عينات من الفيرميكيوليت توضح أشكال الديدان: أ- عينة صلبة ، ب- قطاع رقيق بين المستقطبين.

التواجدات والصحية المعدنية

يتكون المعدن بعمليات التجوية أو بفعل المحاليل الحرمائية التي تسبب إحلال أيونات معينة في البناء البلوري للميكادون انهياره، عندئذ تتكون بلورات كبيرة ذات شكل كاذب بعد الميكادون. يوضح شكل (٤٥-٦) فيرميكيوليت متكون بفعل عمليات التجوية مصاحباً لمعدن اليورانينيت المشع. يتواجد المعدن أيضاً كمعدن طيني أساسي لأنواع معينة من التربة. ويتكون الفيرميكيوليت أيضاً في مناطق التماس بين الإختراقات النارية الحامضية والصخور القاعدية وفوق القاعدية وقد يصاحب الكوراندوم والأباتيت والسربنتين والكلوريت والتلك. كما يتكون في الرواسب البحرية



شكل ٦-٤: معدن اليورانثينيت (الأسود) في فيرميكوليت (البنى)

Penn-MD. Quarry by Kerry Matt, 2005

المتكونة من مواد بركانية. يصاحب المعدن صخور الكربونات والحجر الجيري المتحول. يستخرج من منطقة حفافيت بالصحراء الشرقية المصرية.

الاستخدامات

يستخدم بكميات كبيرة في الصناعات العازلة للحرارة والصوت.

الباب السابع

المعادن السيليكاتية الشبكية

Framework Silicates

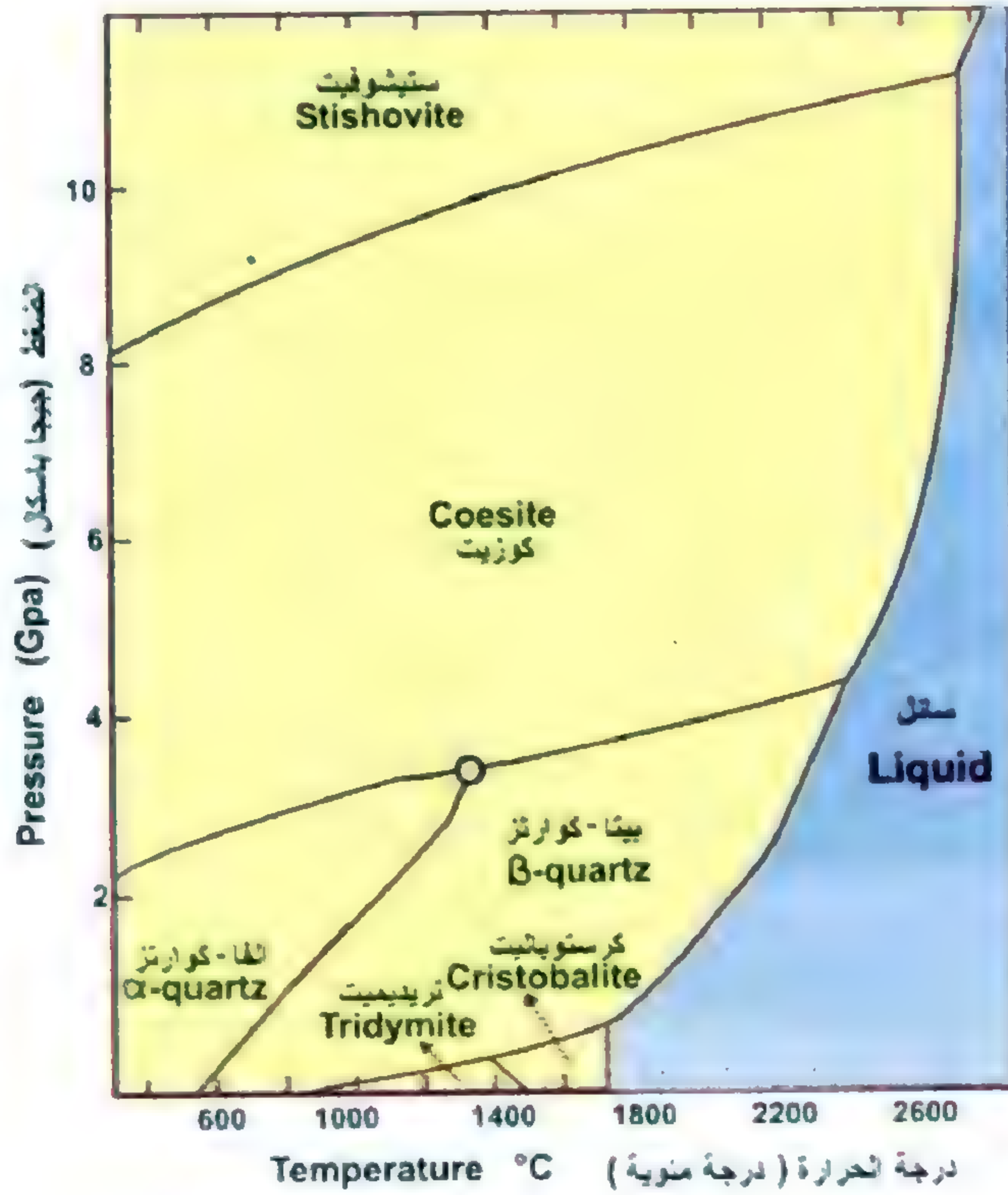
معادن مجموعة السيليكا Silica Group Minerals

يرجع اسم السيليكون إلى الكلمة اللاتينية *Silicis* والتي تعنى فلنت Flint. يعتبر السيليكون ثانى أكثر العناصر شيوعاً فى القشرة الأرضية حيث تشكل نسبته حوالى ٢٥,٧% من مجموع النسب الوزنية للعناصر المكونة للقشرة الأرضية. تم إكتشاف السيليكون فى عام ١٨٢٤ بواسطة العالم السويدي جون بيرزيليوس Jons Berzelius. تتواجد السيليكا فى حوالى تسعة أشكال ويعتمد ذلك على ظروف تكونها من حيث الضغط والحرارة. يوضح الجدول رقم (٧-١) متعددات السيليكا مع بعض الخصائص الخاصة بها على سبيل المقارنة.

جدول ٧-١: معادن مجموعة السيليكا.

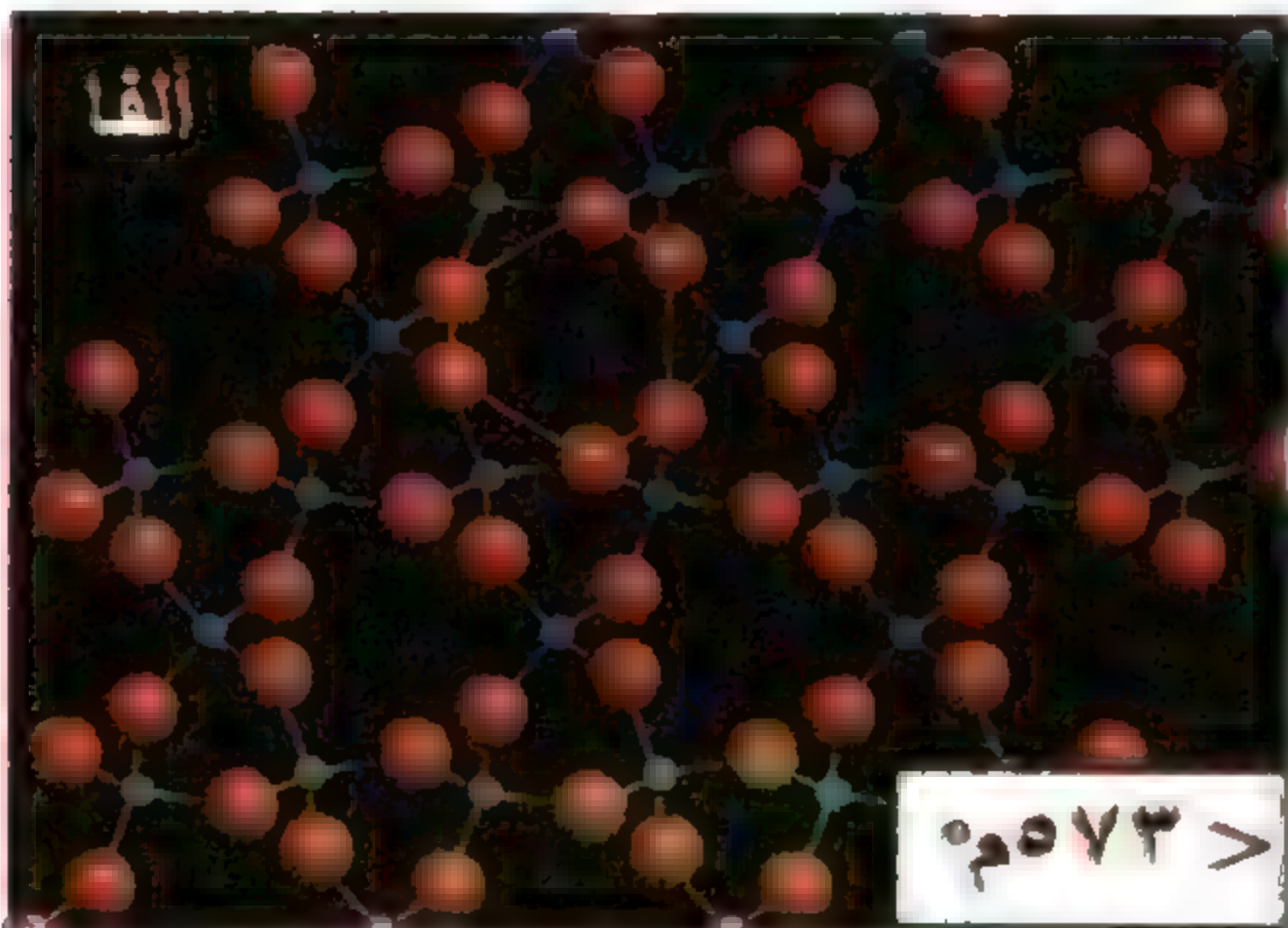
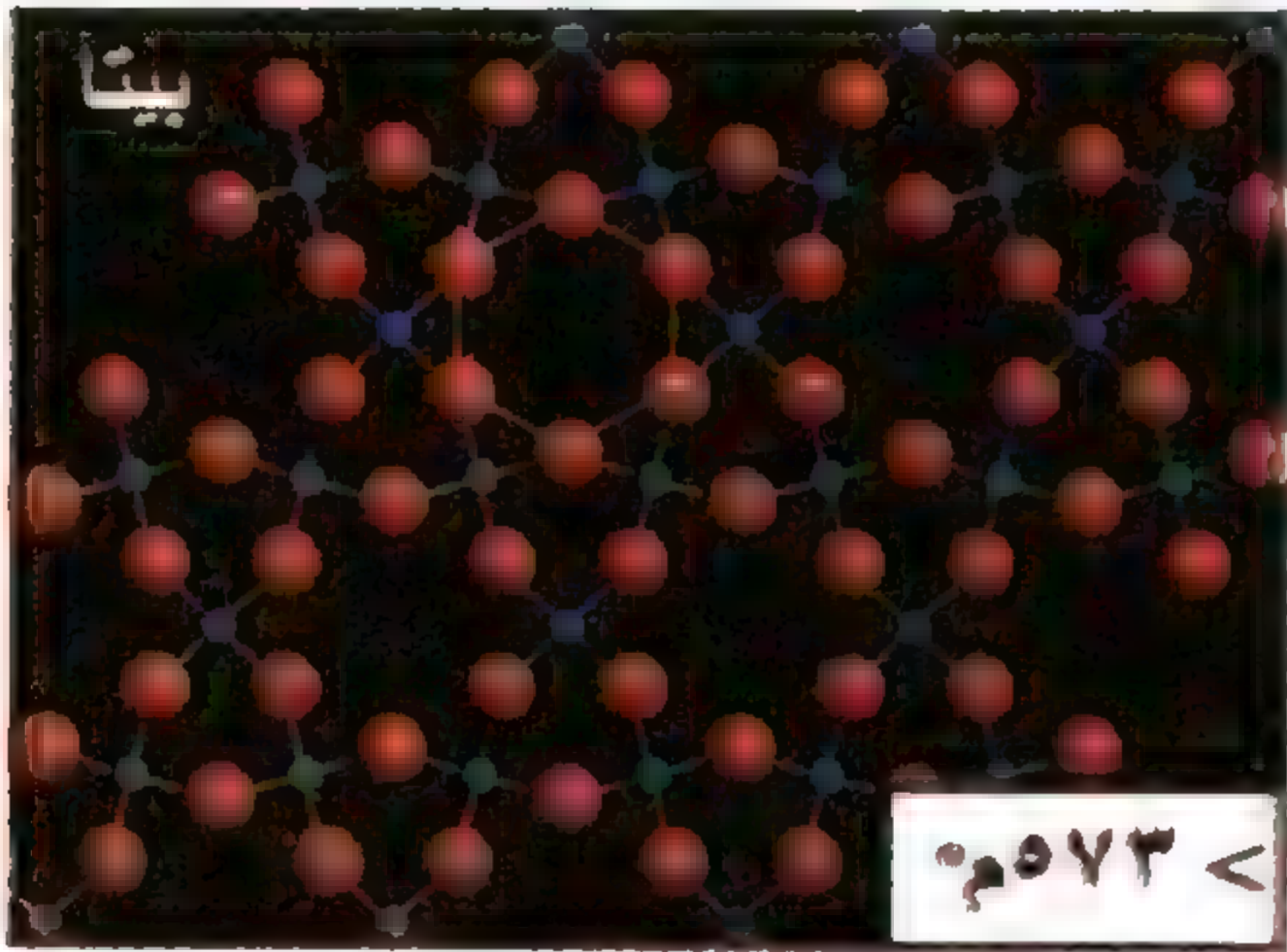
اسم المعدن	نظام التبلور	التماثل	الوزن النوعي
كوزيت Coesite	الميل الواحد	٢/م	٣
كريستوباليت Cristobalite	الرباعي	٢٢٤	٢,٣٢
بيتا كريستوباليت β-Cristobalite	المكعب	٢/٤ م ٣/٢ م	٢,٢
كياتيت Keatite	الرباعي	٢٢٤	٢,٥
ألفا كوارتز α-quartz	الثلثي	٢٣	٢,٦٥
بيتا كوارتز β-quartz	السداسي	٢٢٦	٢,٥٣
ستيشوفيت Stichevite	الرباعي	٢/٤ م ٢/٢ م ٢/٢ م	٤,٢٨
تريديميت trydemite	المعيني القائم	٢٢٢	٢,٢٦
بيتا تريديميت β-trydemite	السداسي	٢/٦ م ٢/٢ م ٢/٢ م	٢,٢٢
أوبال Opal	يتكون من ثانى أكسيد السيليكون المائى $\text{SiO}_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$ ، عديم التبلور Amorphous ويتميز بصفات متغيرة، ولكن يعتبر فى بعض الأحيان من مجموعة معادن السيليكا.		

يوضح شكل (٧-١) مجالات الإستقرار لمعادن مجموعة السيليكا اعتماداً على درجات الحرارة والضغط. تفسر هذه المجالات الاختلاف بين المعادن عالية الحرارة وعالية الضغط ومعدن الكوارتز. فمثلاً نجد أن المعادن عالية الحرارة مثل الكريستوباليت والتريديميت لهما وزن نوعي ومعامل انكسار أقل مما في حالة الكوارتز (ألفا كوارتز). ويرجع هذا الاختلاف إلى البنية البلورية لهما وبالأخص المسافات البينية للذرات والتي تزداد مع زيادة درجة الحرارة، أو بمعنى آخر مع زيادة طاقة التذبذب Vibration energy. وعلى الجانب الآخر، نجد أن المعادن عالية الضغط مثل الستيشوفيت والكوزيت لهما وزن نوعي ومعامل انكسار أعلى مما هو عليه في حالة الكوارتز. ويرجع ذلك إلى تعرض ذرات تلك المعادن إلى ضغط مكثف مما يؤدي إلى تقارب المسافات البينية ومن ثم تكون بنية بلورية محكمة وذات كثافة عالية.



شكل ٧-١: مجالات الإستقرار لمعادن السيليكا (محور عن جرافين ١٩٩٢ Griffen).

تلعب الروابط بين ذرات معادن السيليكا دوراً هاماً في تغير البنية البلورية والخصائص الفيزيائية اعتماداً على التغير الحادث في كل من الضغط والحرارة أثناء مراحل تكون هذه المعادن. تظهر معظم متعددات أشكال السيليكا نوع من الإستقرار عند ظروف الضغط المنخفض، مثل معادن ألفا كوارتز وبيتا كوارتز والكريستوباليت والتريديميت (شكل ٧-١). في هذه الحالة، نجد أن ذرات السيليكون تكون في حالة تناسق مع أربع ذرات أكسجين مكونة شبكة من رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 ذات روابط قوية. وعلى الجانب الآخر، في حالة الضغوط المرتفعة، يحدث زيادة في عدد التناسق وبالتالي تنتج أنواع عالية الكثافة مثل الستيشوفيت. تصبح ذرات السيليكون في هذه الحالة، في حالة تناسق سداسي مع ستة ذرات أكسجين وتكون شبكة من ثمانيةات الأوجه SiO_6 . ويعتبر كل من متعددي الأوجه السيليكاتي ذو التناسق الرباعي والسداسي وحدات بنائية أساسية في البنية البلورية لمعادن مجموعة السيليكا.



شكل ٧-٢: تأثير الحرارة على ترتيب الذرات في الكوارتز.

كما يظهر تأثير درجة الحرارة بوضوح في ظهور متعددات الأشكال للسيليكا، ففي حالة ألفا كوارتز الذي يتكون في درجة حرارة أقل من ٥٧٣ درجة مئوية تتحرك الذرات بحيث يصبح هناك محور ثلاثي التماثل بينما يكون هذا المحور سداسي التماثل في حالة بيتا كوارتز المتكون في درجة حرارة أعلى من ٥٧٣ درجة مئوية مما يدل على أن الكوارتز عند الحرارة العالية يظهر تماثل أعلى بفعل زيادة الطاقة الحرارية Thermal energy.

(شكل ٧-٢).

الكوارتز Quartz



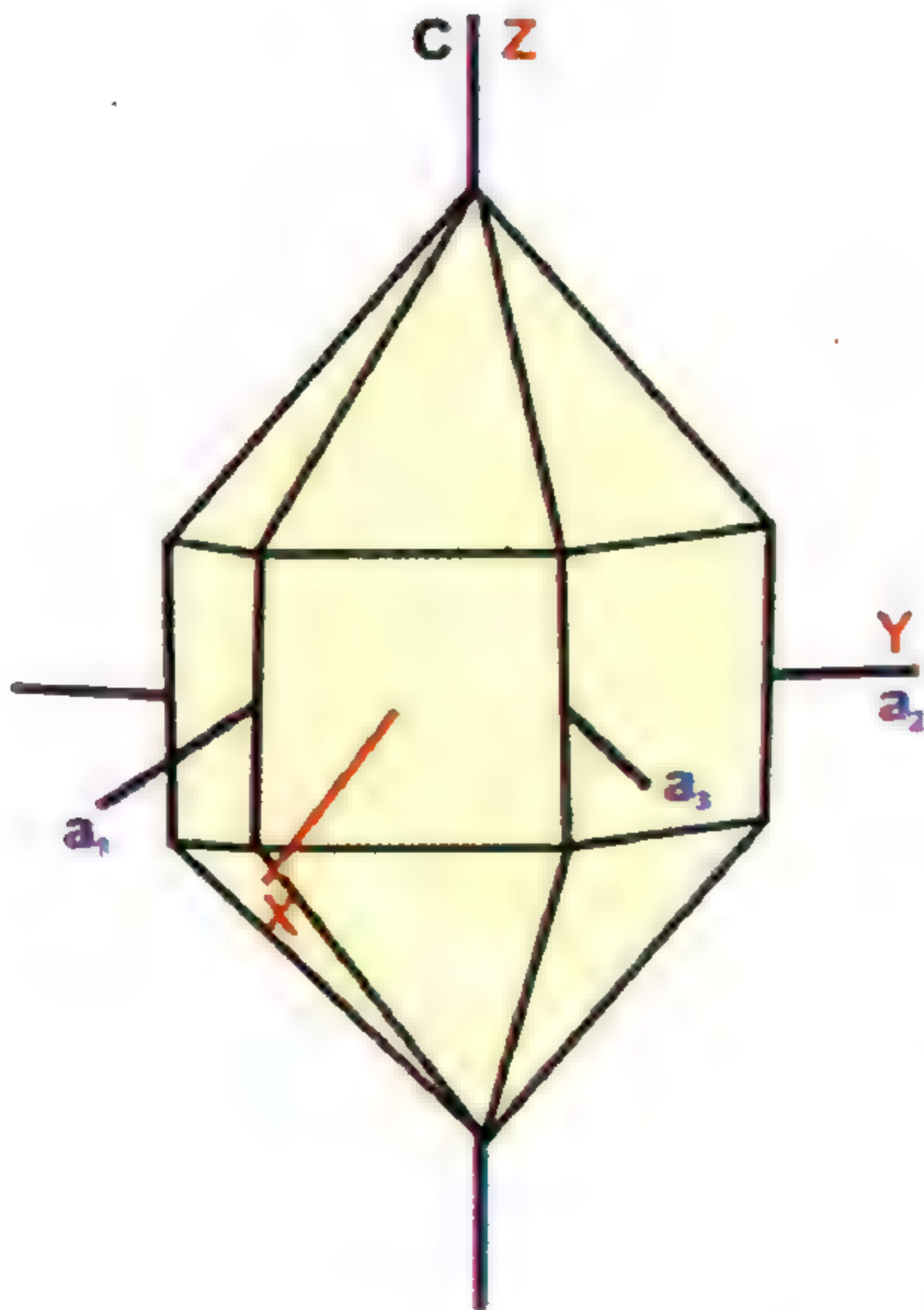
لا يوجد تأكيد عن أصل اسم معدن الكوارتز، ولكن ربما يأتي من الكلمة الألمانية كوارتز *Quarz* والتي تعني صلب *hard*. يتكون المعدن من ثاني أكسيد السيليكون ويعتبر من أكثر المعادن إنتشاراً بالقشرة الأرضية. ويتميز المعدن بمقاومته العالية لكل من عمليات التجوية الكيميائية والميكانيكية. يتواجد الكوارتز على عدة أشكال، يمكن تصنيفها حسب حجم الحبيبات إلى :

• أشكال خشنة التبلور *Coarse Crystalline*: مثل الكوارتز المدخن والبلور الصخري والأميثيست *Amethyst* والكوارتز الوردي وعين النمر *Tiger's eye*.

• أشكال خفية التبلور *Cryptocrystalline*: مثل الكالسيدوني وكارنيليان *Carnelian* والأونيكس *Onyx*.

• أشكال حبيبية *Granular*: مثل الفلنت والشيرت والجاسبر.

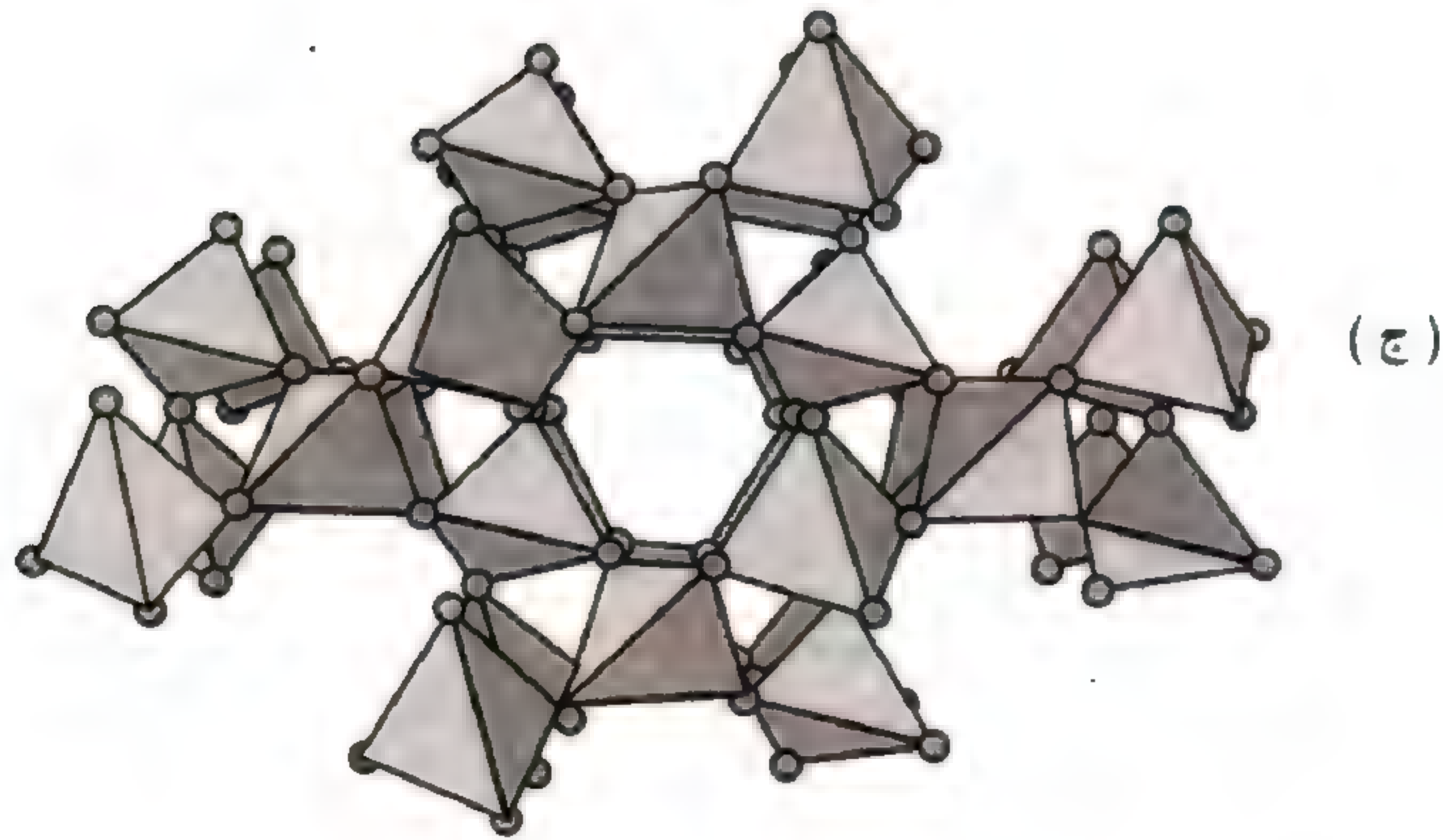
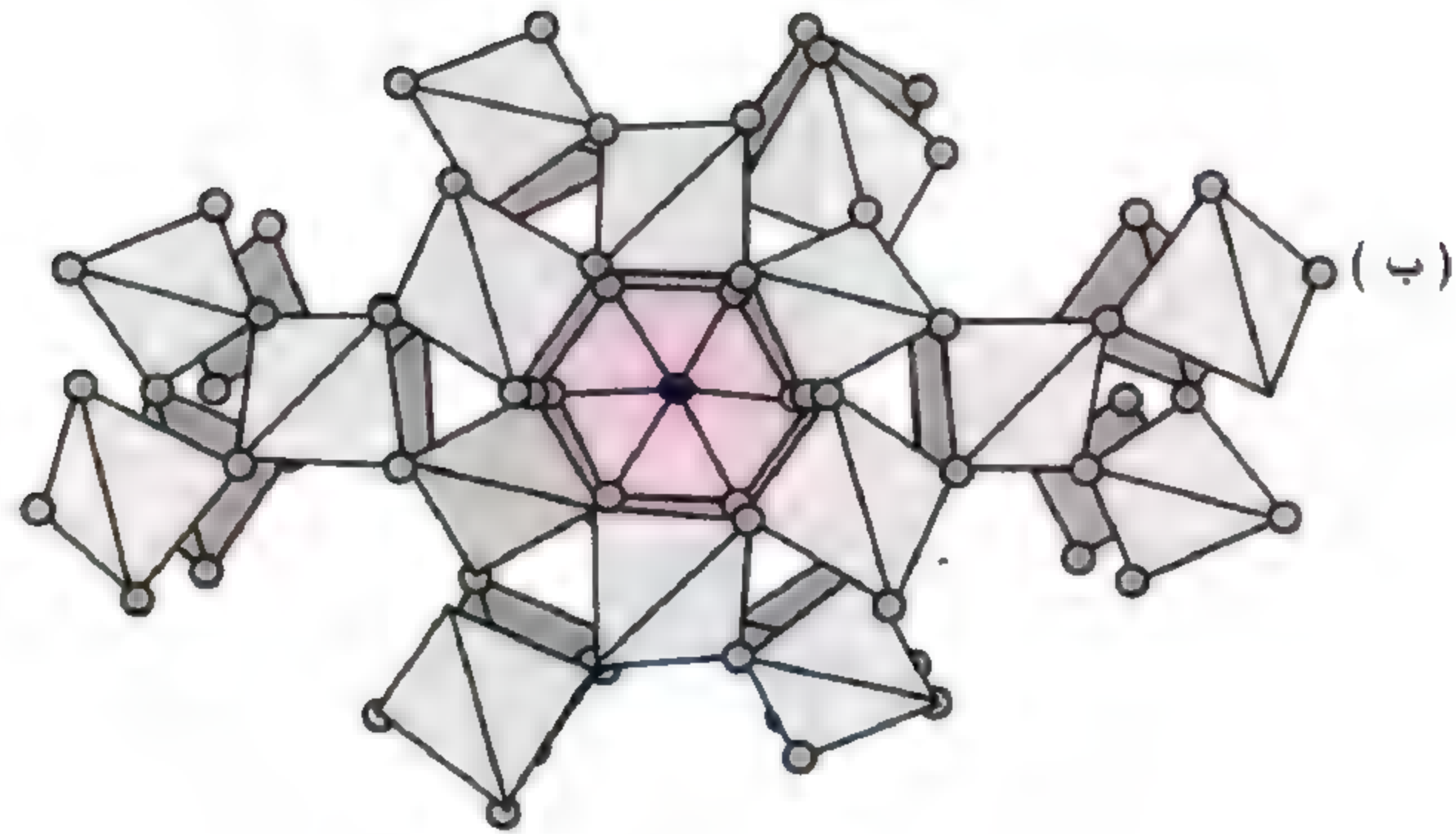
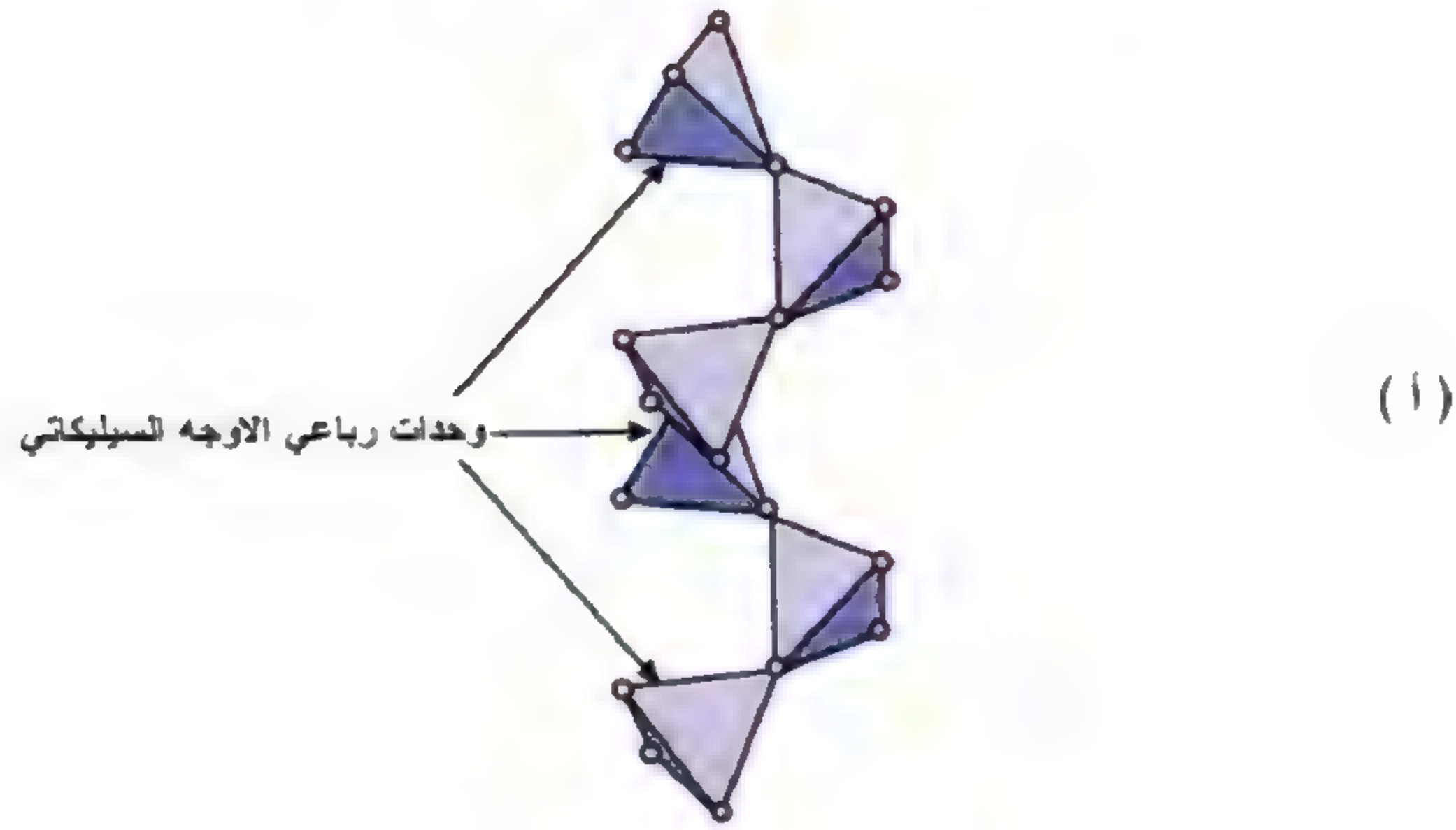
البنية البلورية



شكل ٧-٣: العلاقة بين المحاور البلورية a_1, a_2, a_3, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الكوارتز.

يتبلور الكوارتز في فصيلة السداسي أو الثلاثي وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 4,91 \text{ \AA}$ ، $b = 5,40 \text{ \AA}$ أنجستروم وعدد ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 3$. يتواجد الكوارتز في عدة هيئات بلورية ولكن أكثرها إنتشاراً هو الشكل المنشوري السداسي والمنتهي بأوجه معيني الأوجه السالب والموجب وقد تكون هذه الأوجه متساوية حتى تبدو وكأنها شكل الهرم المنعكس السداسي (شكل ٧-٣). ويكثر وجود التواعم في بلورات الكوارتز (شكل ٧-١٥). كما يوجد أيضاً في الهيئة الكتلية

والعنقودية والستلاكتيكية. هناك نوعين أساسيين من الكوارتز هما: ألفا كوارتز (α -quartz) وبيتا كوارتز (β -quartz) ويتبلور ألفا كوارتز في فصيلة الثلاثي، ويأخذ عدة أسماء أخرى منها الكوارتز المنخفض Low quartz والكوارتز العادي Quartz. بينما يتبلور بيتا كوارتز في فصيلة السداسي.



شكل ٧-٤: (أ) سلسلة من رباعيات الأوجه السيليكاتي على شكل حلزوني. (ب) البنية البلورية للبيتا كوارتز. (ج) البنية البلورية للألفا كوارتز (نيسي ٢٠٠٠). (Nesse ٢٠٠٠).

يوضح الشكل رقم (٧-٤) البنية البلورية للكوارتز. وفيها تتراس رباعيات الأوجه السيليكاتي على شكل حلزوني موازي للمحور البلوري "C" (شكل ٧-٤أ). في حالة البيتا كوارتز، فإن هذه الحلزوينات تتشابه فيما بينها لكي تكون تماثل سداسي (شكل ٧-٤ب). مع عمليات التبريد، فإن البنية البلورية للبيتا كوارتز (تناسق عالي) تتحول إلى البنية البلورية للألفا كوارتز (تناسق منخفض) ذات التماثل الثلاثي (شكل ٧-٤ج). تتم عملية التحويل بين نوعي الكوارتز بسبب حركات ذرية طفيفة إلى حد ما دون حدوث تكسير بروابط السيليكون والأكسجين Si-O bond. كما تتسم هذه العملية بالسرعة والتفاعلات العكسية ويصاحبها عملية إمتصاص طفيف للطاقة. يمكن معملياً إجراء عملية التحويل بين صنفى الكوارتز بواسطة التسخين، حيث يتحول الألفا كوارتز إلى البيتا كوارتز، ويحدث العكس بالتبريد.

كيمائية المعدن

يتكون الكوارتز (نقصد به ألفا كوارتز أو الكوارتز المنخفض) غالباً من ثانى أكسيد السيليكون فقط، ولكن في بعض الأحيان توجد بعض الشوائب من العناصر الأخرى، مثل إحلال كميات ضئيلة من الألومنيوم Al^{3+} والحديد Fe^{3+} محل السيليكون الرباعي Si^4 . يتم تعويض فرق الشحنة بدخول نسب معينة من الصوديوم Na^+ أو الليثيوم Li^+ أو البوتاسيوم K^+ أو إضافة أيون الهيدروجين H^+ والذي يصنع رابطة مع الأكسجين لتكوين أيون الهيدروكسيل $(OH)^-$.

الصفات الفيزيائية والبصرية

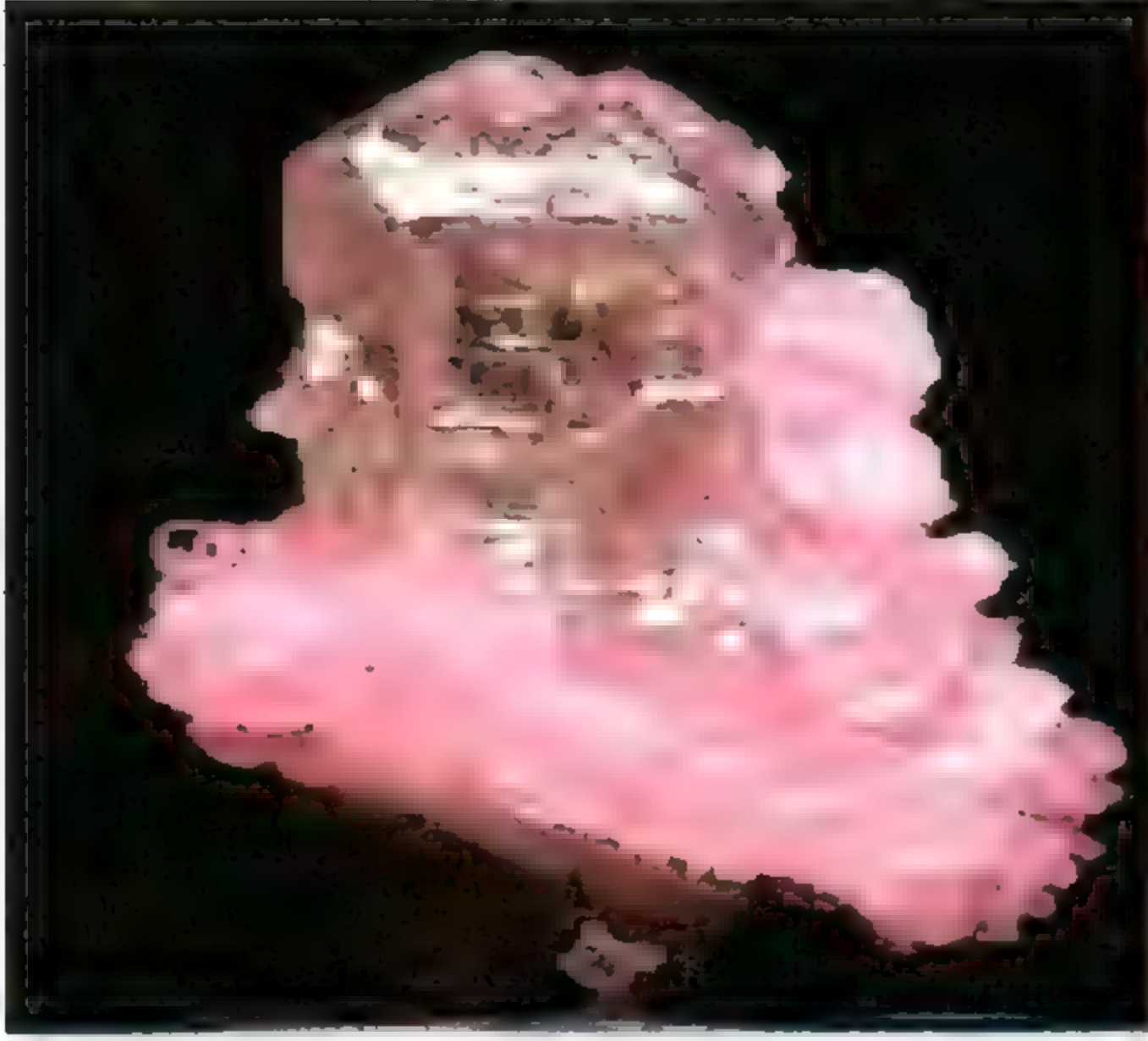
هناك ألوان عديدة للكوارتز (شكل ٧-٥):

- عديم اللون أو الشفاف مثل البلور الصخري Rock crystal (شكل ٧-٥أ).
- اللون البنفسجي أو الأرجواني مثل الأميثيست Amethyst (شكل ٧-٥و)، ويرجع اللون إلى وجود شوائب من الحديد.

(أ)



(ب)



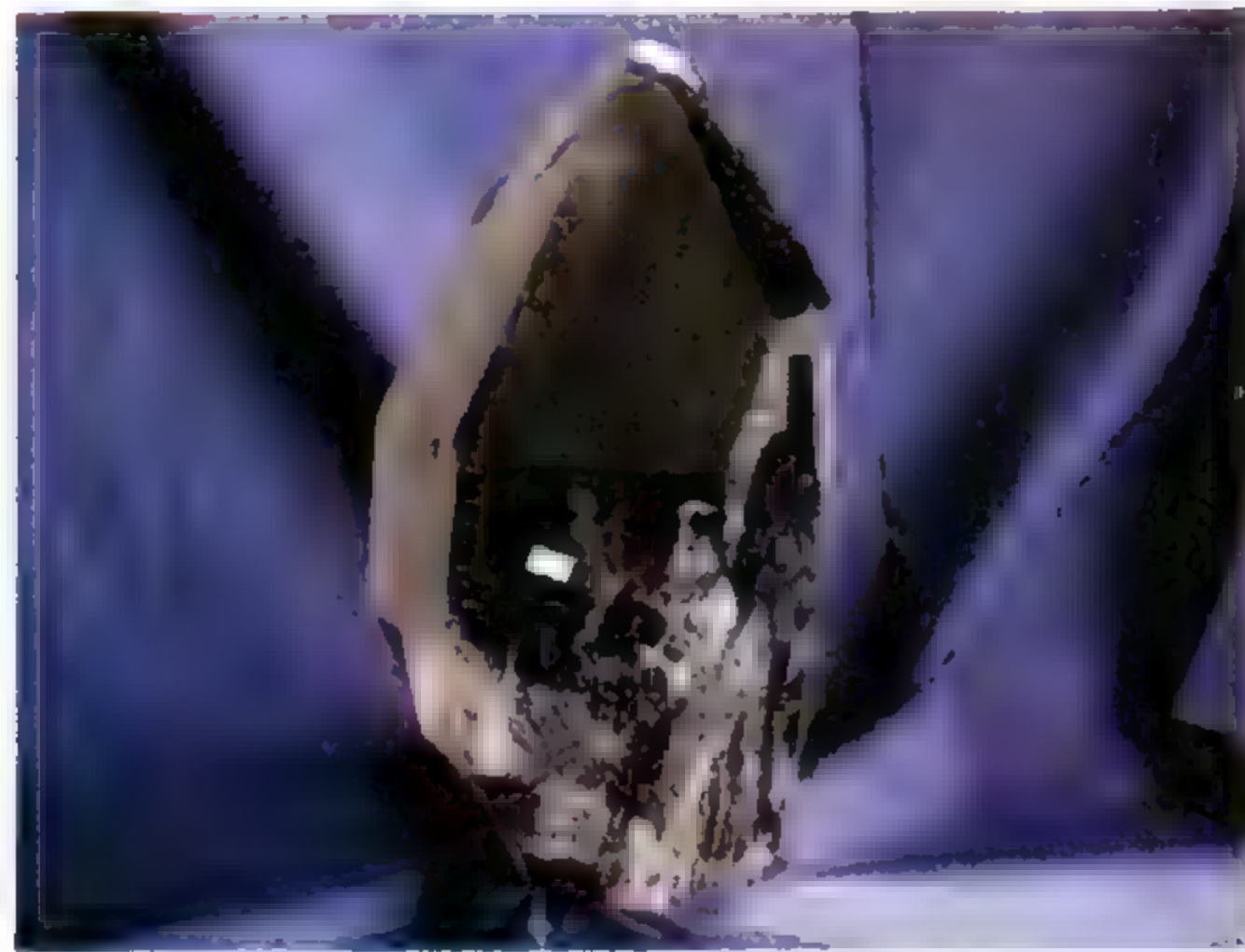
(ج)



(د)



(هـ)



(و)



شكل ٧-٥: (أ) توائم من بلورات الكوارتز عديمة اللون وشفافة. (ب) كوارتز مدخن بدرجة طفيفة مع بلورات صغيرة الحجم من الكوارتز الوردي. (ج) عين الهر Tiger's Eye. (د) أجيت عتيق. (هـ) بلورة كوارتز ذات لون اسود مدخن. (و) بلورات توأمية بنفسجية اللون من الأميثيست.

• اللون الوردي مثل الكوارتز الوردي Rose quartz (شكل ٧-٥ب)، ربما يرجع هذا اللون إلى وجود مكثفات دقيقة من معدن الديمورتيريت الوردي $\text{Dumortierite } (\text{Al}_{27}\text{O}_6)(\text{BO}_3)_4(\text{SiO}_4)_{12}(\text{OH}_3)$ أو وجود شوائب من التيتانيوم

• اللون الأبيض أو اللبني مثل الكوارتز اللبني Milky quartz والذي ينتج عن تواجد الحديد من الشوائب البيضاء.

• اللون الاسود المدخن مثل الكوارتز المدخن Smoky quartz (شكل ٧-٥هـ)، ربما يرجع هذا اللون إلى عمليات الإشعاع الناتجة من وجود نسبة بسيطة من العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم في المعدن.

• اللون الأصفر مثل السيترين Citrine، ويرجع هذا اللون إلى وجود نسبة من الحديد أو العناصر المشعة أو كلاهما معاً.

• اللون الأحمر أو البني مثل الكوارتز الحديدي والجاسبر Jasper والكارنيليان (العقيق الأحمر).

• اللون الرمادي الغامق أو الأسود، مثل الفلنت Flint أو الشيرت Chert.

• نطاقات من الألوان أو البقع غير منتظمة اللون مثل الأجيت (عقيق) Agate (شكل ٧-٥د)، وقد تنتج هذه النطاقات من عمليات الترسيب المتلاحق مثل عين الهر Tiger's Eye (شكل ٧-٥ج).

كما يتميز الكوارتز بالبريق الزجاجي والمخدش الأبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة، عادة تكون البلورات خفية التبلور ذات بريق شمعي إلى مطفي ويمكن أيضاً أن تكون ذات بريق زجاجي. الصلادة تصل إلى ٧ ولكن تكون أقل في حالة البلورات خفية التبلور. الإنقسام ضعيف جداً في ثلاث اتجاهات (معينى الأوجه Rhomboheral). المكسر محاري. يصل الوزن النوعي إلى ٢,٦٥ ويكون أقل أيضاً في حالة البلورات خفية التبلور. يظهر المعدن عديم اللون في القطاعات الرقيقة. ألوان التداخل من الرتبة الأولى

وتتراوح من رمادي إلى أصفر شاحب، الإنطفاء متموج (Undulate (wavy extinction لا يوجد انفصام أو توأمية مرئية تحت الميكروسكوب. التضاريس منخفضة موجبة. المعدن أحادي المحور موجب ويبلغ معامل انكسار المعدن $(\omega) = 1.544$ ، $(\epsilon) = 1.553$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0.009$.

التواجدات والصحة المعدنية

يعتبر الكوارتز من أكثر المعادن شيوعاً في الطبيعة، حيث يشكل المكون الأساسي للصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والرايولايت والبيجماتيت. ونظراً للمقاومة العالية للكوارتز لعمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية، فإنه يتحرر من تأثير تجوية الصخور الفلسية ويتراكم على شكل رواسب رملية. وكذلك يكثر وجود المعدن بالصخور المتحولة مثل النيس والشيست وصخور الكوارتزيت، كما يتواجد المعدن على شكل عروق إثر عمليات ترسيب من المحاليل الحرمائية المشبعة بالسيليكا. عندما تتفاعل هذه المحاليل مع صخور الحجر الجيري، فإن السيليكا تحل محل أجزاء من الحجر الجيري وتترسب على شكل الفلنت أو الشيرت. ومن المعادن المصاحبة: الألبيت والميكروكلين والأمفيبول والتورمالين والبيريت والمسكوفيت والكالسيت والهيمايت والبيريل.

يوجد الكوارتز منتشراً في كثير من بلدان العالم أهمها: البرازيل وكولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية وإسكتلندا وجبال الألب بسويسرا حيث يكثر وجود الكوارتز المدخن. ويكثر وجود الكوارتز الوردى بمناطق عديدة بالبرازيل. ويوجد السيترين الطبيعي مع رواسب الأميثيست بجبال الأورال في روسيا وتشيكوسلوفاكيا والبرازيل. ويوجد البلور الصخري بالبرازيل وأركنساس بالولايات المتحدة الأمريكية والعديد من المناطق بأفريقيا. أما الأجييت أو العقيق فيوجد بالبرازيل ومونتانا وأمريكا والمكسيك وألمانيا. كما تم اكتشاف الأميثيست بمناطق النجات وجبل الكريزية ومحافظة بدر بالملكة العربية السعودية.

الاستخدامات

يستعمل الكوارتز في صناعة الدوائر الرنينية التي تعمل على توليد موجات ذات تردد معين بالأجهزة الكهربائية مثل الراديو والتلفاز والرادار. كما يستخدم الكوارتز كمصدر للسيليكون والذي يستخدم في العديد من التطبيقات، من أهمها صناعة شرائح السيليكون المستخدمة في أجهزة الحاسبات. ويستخدم الكوارتز في صناعة الساعات كما تستعمل الأنواع الملونة منه مثل الأميثيست والكوارتز الوردي والأجيت والأرنيكس وعين الهر وعين النمر كأحجار كريمة. كما يستخدم البلور الصخري في صناعة الأجهزة البصرية. وتستخدم رمال الكوارتز في صناعة الأسمنت والزجاج ومواد الصنفرة والطوب الزجاجي، بينما يستعمل مسحوق الكوارتز في صناعة الخزف والطلاء وصناعات أخرى. في حين تستخدم الأحجار الرملية والكوارتزيت في أغراض البناء ورصف الطرق وصناعة الطوب الحراري وصناعة السيليكون الحديدى Ferro-silicon والذي يستخدم في صناعة الحديد والصلب السيليكاوى Silicon Steel. كما تستعمل البلورات المستديرة من الكالسيدونى في صناعة المطاحن الكروية Ball mills والتي تستعمل في طحن المعادن مثل الفلسبار والكالسيت والباريت. وتستخدم الحبيبات الكبيرة من الأجيت في صناعة هاون الأجيت Agate mortar.

التريديميت Tridymite



يرجع الاسم إلى كلمة إغريقية تعني ثلاث *threefold*، نسبةً إلى هيئته البلورية والتي تتكون من بلورات مركبة من ثلاث أجزاء. ويرجع إكتشاف هذا المعدن للعالم فوم راث Vom Rath عام ١٨٦٨ عند دراسته أشكال السيليكا بصخور الأنديزيت الأوجيتى بمنطقة باتشوكا Pachuca بالمكسيك. ويمكن تمييز التريديميت عن أنواع الكوارتز الأخرى عن طريق هيئته البلورية ومعامل الانكسار. يوجد نوع آخر للتريديميت والذي يتكون في ظروف الحرارة العالية ويسمى بيتا تريديميت. يُعتقد أن التريديميت يتبلور أولاً على هيئة بيتا تريديميت والمتبلور بفصيلة السداسي تحت ظروف

الحرارة العالية، ومع التبريد يتحول إلى ألفا تريديميت أو تريديميت منخفض. ويعتبر البيتا تريديميت أعلى في درجة التماثل عن الألفا تريديميت. يحتفظ المعدن مع عملية التحول بشكله البلوري السداسي دون تغيير ولكن يحدث التحويل في البنية الداخلية. يساعد وجود التريديميت بالصخور في تحديد درجة حرارة التبلور التي تكون عندها الصخر. يتبلور التريديميت عند ضغط منخفض ودرجات حرارة تتراوح بين ٨٧٠ و ١٤٧٠°م (أنظر شكل ٧-١). يعتمد هذا المدى الحراري (٦٠٠ درجة مئوية) على تغيرات الضغط ومحتوى الموائع. وبالرغم من وجود هذا المدى، إلا أن التريديميت يعتبر مقياساً جيداً لحرارة تبلور الصخور. يصبح التريديميت شبه مستقر Metastable عند درجات الحرارة العادية، مما يعنى أنه يتحول ببطء إلى الكوارتز عبر آلاف السنين.

البنية البلورية

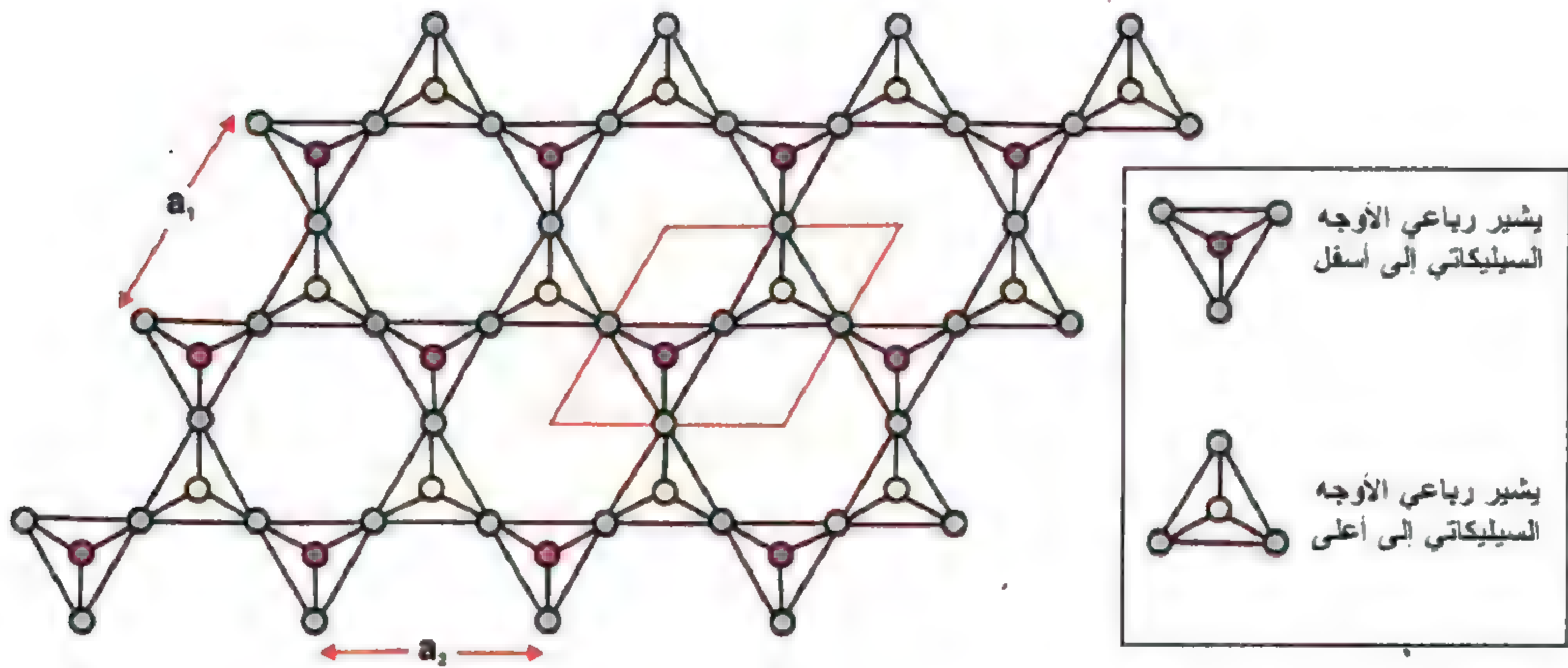


يتبلور المعدن بفصيلة المعيني القائم ويسمى ألفا تريديميت ولكنه يوجد أحياناً في شكل سداسي كاذب مع تكون الصنف مرتفع الحرارة والذي يسمى بيتا تريديميت والذي يتبلور بفصيلة

السداسي. تبلغ أبعاد المحاور البلورية لمعدن ألفا تريديميت المعيني: أ= ٩,٨٨، ب= ١٧,١، ج= ١٦,٣ أنجستروم. مجموع ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات (Z) = ٦٤، مجموعة النقطة 222 والمجموعة الفراغية P222. البلورات صغيرة ومفلطحة ومعظمها توأمية.

تتكون البنية البلورية للتريديميت من صفائح Sheets لرباعيات الأوجه السيليكاتي. تتكون كل صفيحة من حلقات مكونة من ستة وحدات من رباعي الأوجه السيليكاتي (شكل ٧-٦). تتبادل وحدات رباعي الأوجه مع بعضها في الاتجاه التي تشير إليه سواء إلى أعلى أو إلى أسفل. يكون التماثل الناتج لبنية التريديميت أعلى مما هو عليه في حالة الكوارتز. تتشابك الصفائح فيما بينها

عن طريق مشاركة ذرات الأكسجين بوحدة رباعي الأوجه السيليكاية التي تشير لأعلى وأخرى من وحدات رباعي الأوجه السيليكاية التي تشير لأسفل. يمتلك النوع عالي الحرارة (بيتا تريديميت) بنية ذات تماثل سداسي، ومع عمليات التبريد، يحدث تشوه في هذه البنية وتفقد تماثلها السداسي وتتحول إلى ألفا تريديميت.



شكل ٧-٦: البنية البلورية للبيتا تريديميت خلال المحور البلوري "c". يشير متوازي الأضلاع (باللون الأحمر) إلى وحدة الخلية (عن دير وآخرون ١٩٨٩).

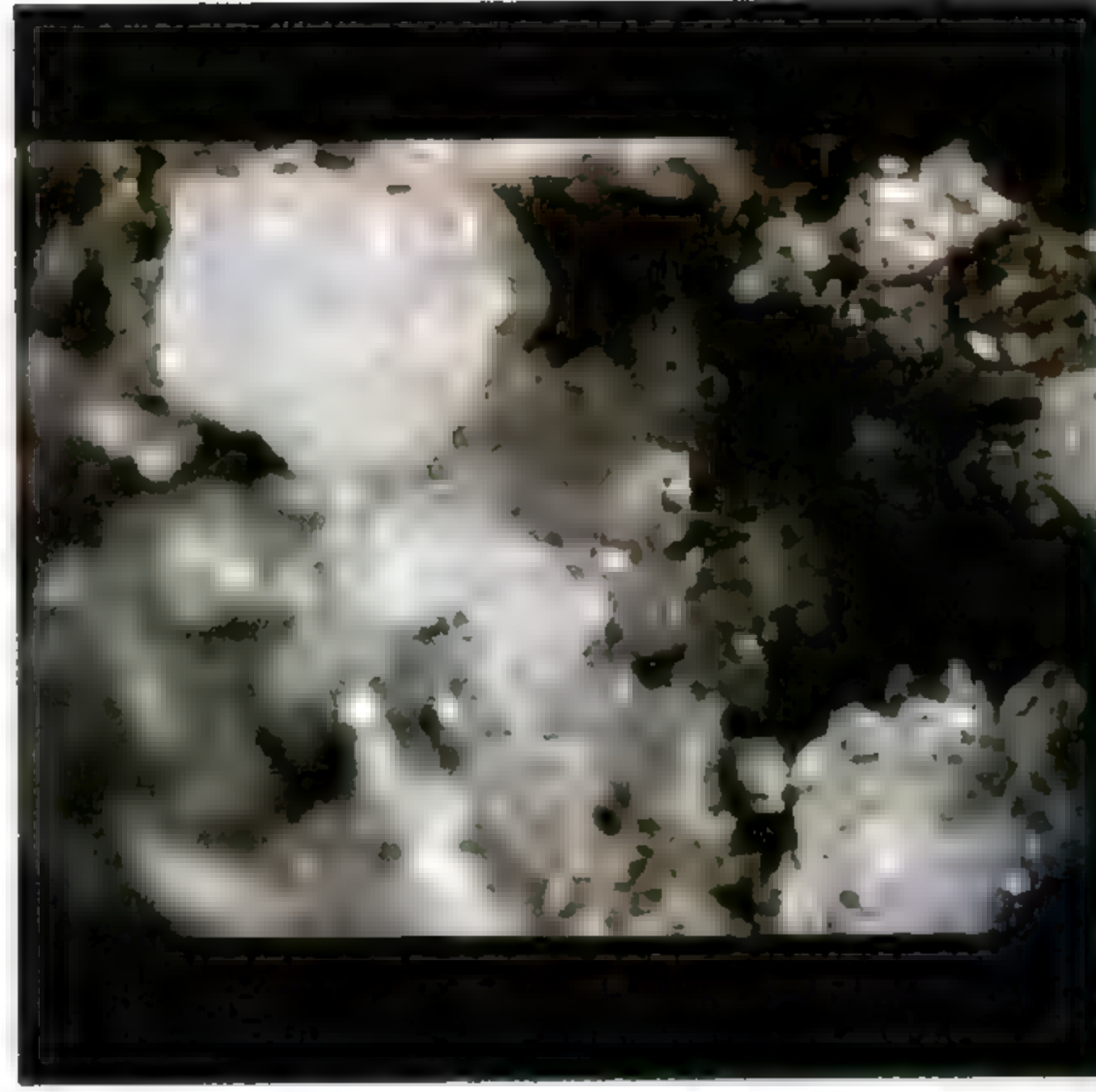
كيمائية المعدن

كما هو الحال في الكوارتز، يتكون المعدن في حالته النقية من ثاني أكسيد السيليكون ولكن تستوعب البنية البلورية للتريديميت كميات متغيرة من عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وذلك لإحداث نوع من الإلتزان الإلكتروني وتعويض فرق الشحنة الناتجة عن إحلال الألومنيوم الثلاثي محل السيليكون الرباعي.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن عديم اللون أو أبيض (شكل ٧-٧). البريق زجاجي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٧ والإنقسام ضعيف في ثلاث اتجاهات (منشوري). يصل الوزن النوعي إلى ٢,٢٧. تحت

الميكروسكوب، يُظهر المعدن تضاريس متوسطة سالبة. ومعدن التريديميت (نقصد به ألفا تريديميت أو التريديميت المنخفض) هو معدن ثنائي المحور موجب، وتبلغ معاملات انكساره ألفا $\alpha = 1.478$ وبيتا $\beta = 1.479$ وجاما $\gamma = 1.481$ وقرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0.003$ والزاوية البصرية $(2V) = 70^\circ$. يمكن تمييز التريديميت بقرينة الانكسار المزدوج المنخفضة ومعامل الانكسار المنخفض والتوأمية التي تكون على شكل وتد Wedge-shaped.



شكل ٧-٧: تريديميت عديم اللون (مجال الرؤية: ١,٥ x ١,٢ مم) من جبال أيفيل بألمانيا
(www.mindat.org/gallery.php?min=4015&st=12).

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد التريديميت بالصخور النارية البركانية الحامضية والمتوسطة، كما يوجد بالصخور النارية الجوفية المتكونة عند أعماق ضحلة. ممكن أن يتواجد على شكل بلورات كبيرة Phenocrysts أو بلورات دقيقة بأرضية الصخر أو مالى للفجوات بالصخور البركانية الفقاعية كالبازلت. من المعادن المصاحبة: الكريستوباليت والسانيدين والهورتبلند والبيتا كوارتز والأوليفين والأوجيت. ويرجع تواجده مع كل من الأوليفين والأوجيت المميز للصخور المافية إلى تبلوره داخل الفجوات بالصخور البركانية المافية الفقاعية. من أهم أماكن تواجده: منطقتي باشوكا وسيروسان كريستوبال بالمكسيك Pachuca and

Cerro San Cristobal وجبال سان جون وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية وفي إيطاليا.

الاستخدامات

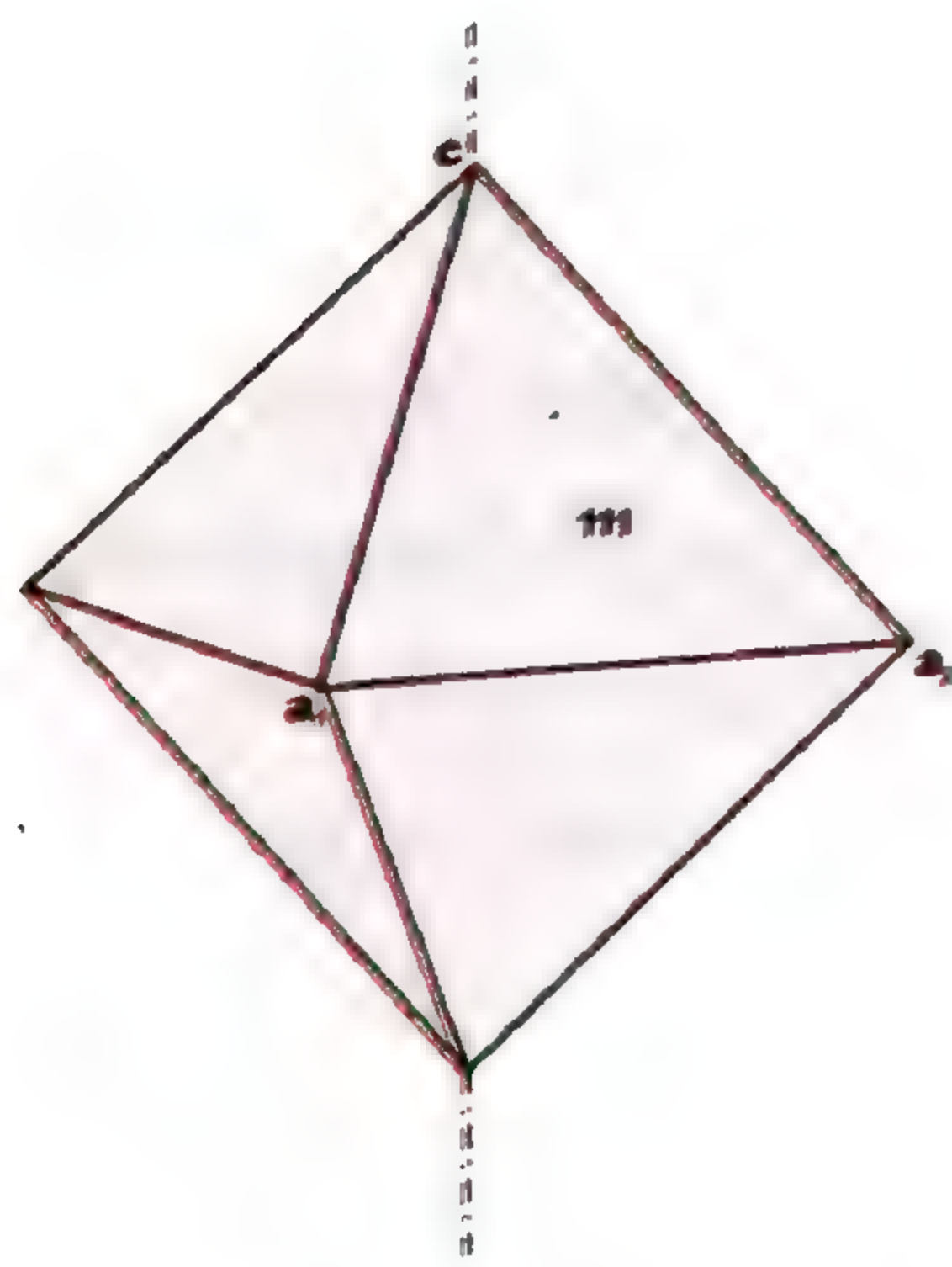
يستخدم المعدن كمقياس حرارة بالصخور البركانية حيث يتكون عند درجة حرارة تتراوح بين ٨٧٠ و ١٤٧٠°م. ومن الممكن استخدامه كمصدر للسيليكون والذي له العديد من التطبيقات (أنظر استخدامات الكوارتز).

الكريستوباليت Cristobalite



تم تسمية المعدن نسبةً إلى مكان إكتشافه وهو منطقة سيروسان كريستوبال بالمكسيك Cerro San Cristobal. ويرجع إكتشاف المعدن للعالم فوم راث Vom Rath عام ١٨٦٨ وذلك عند دراسته لأشكال السيليكا المختلفة بهذه المنطقة. كما هو الحال في الكوارتز والتريديميت، يتواجد الكريستوباليت على شكلين، أحدهما في ظروف الحرارة المنخفضة ويسمى الكريستوباليت المنخفض أو ألفا كريستوباليت أو الكريستوباليت فقط والآخر يتكون في ظروف الحرارة المرتفعة ويسمى بيتا كريستوباليت أو الكريستوباليت العالي.

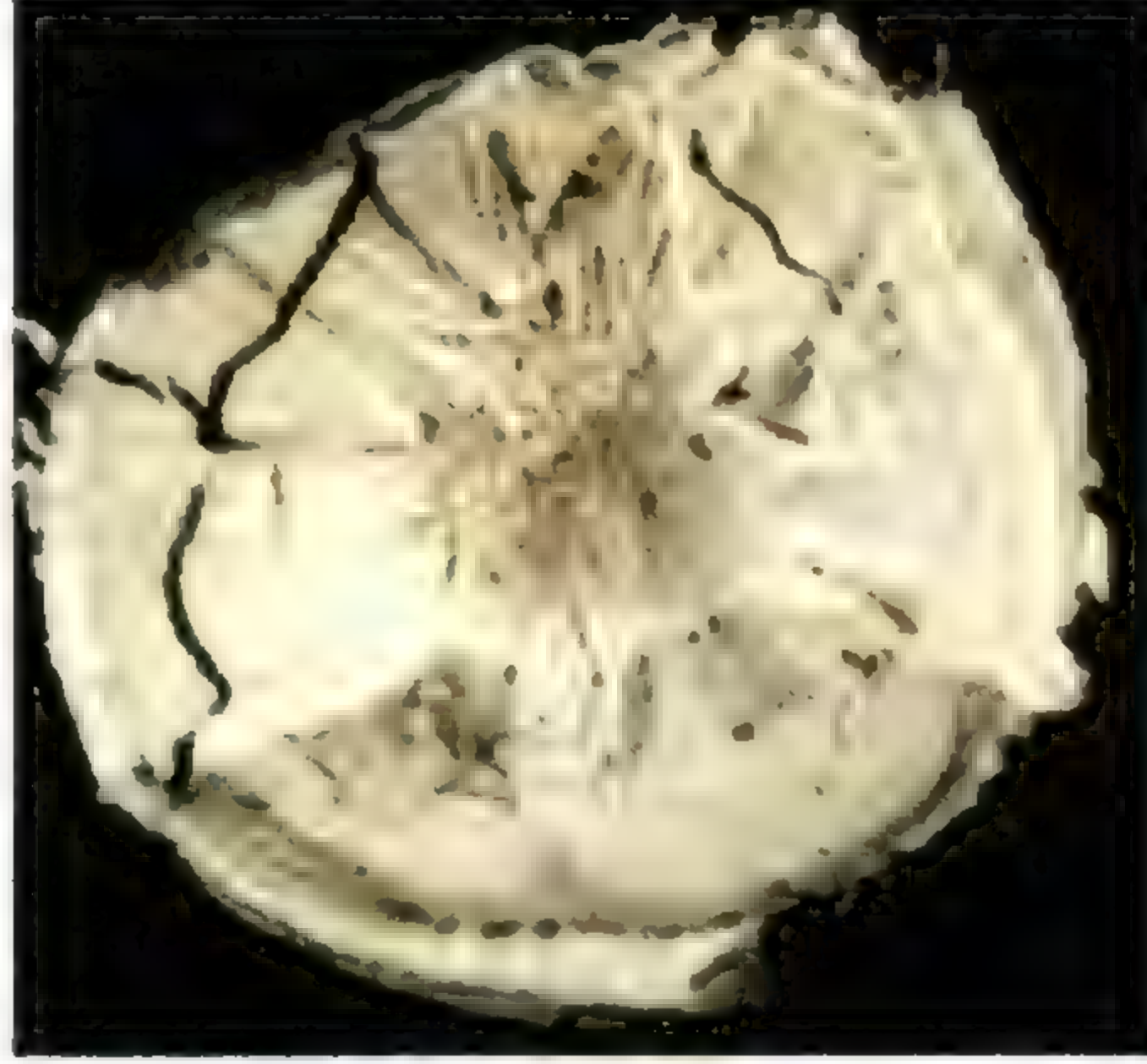
البنية البلورية



شكل ٧-٨: بلورة هرمية لمعدن الكريستوباليت المتبلور في فصيلة الرباعي.

يتبلور المعدن بفصيلة الرباعي (مكعب كاذب). أما الشكل المرتفع الحرارة (بيتا كريستوباليت) فإنه يتبلور في فصيلة المكعب. تبلغ أبعاد خلية الوحدة: أ = ٤,٩٧١، ج = ٦,٩٢٨ أنجستروم. مجموع الذرات بخلية الوحدة $(Z) = ٤$. تتواجد بلورات المعدن على شكل ثمانى الأوجه الكاذب (شكل ٧-٧).

(٨)، بعضها يكون توأمى ويسمى توأم السبينيل Spinel twin. كما يتواجد على شكل شعاعى (شكل ٧-٩) أو على شكل تجمع كروى Aggregates.



شكل ٧-٩: كريستوباليت (٢ x ٣ سم) من منطقة مونو كريبترس بكاليفورنيا Mono Craters. (www.geo.oregonstate.edu/.../cristobalite1928.htm).

تتشابه البنية البلورية للكريستوباليت مع معدن التريديميت (أنظر شكل ٧-٦)، حيث تتكون من صفائح Sheets لرباعيات الأوجه السيليكاتية. تكون رباعيات الأوجه بكل صفيحة حلقات من ستة وحدات. ترتبط الصفائح فيما بينها مثلما هو الحال فى معدن التريديميت. ولكن تختلف بنية الكريستوباليت فى طريقة تشابك حلقات رباعي الأوجه فى أحد الصفائح مع حلقات رباعي الأوجه بالصفحة التى بأسفلها بحيث تتطابق رباعيات الأوجه والتى تشير لأعلى بأحد الصفائح مع مراكز الحلقات بالصفحة التى بأسفلها. عند درجات الحرارة العالية، تكون البنية البلورية للكريستوباليت مكعبية Isometric ولكن مع التبريد إلى درجة حرارة أقل من ٢٦٨°م يحدث نوع من التشوه فى هذه البنية وتتحول إلى تماثل رباعى (الفا كريستوباليت).

كيمائية المعدن

نفس التركيب الكيميائى للتريديميت.

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن عديم اللون أو أبيض. البريق زجاجي والمخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٦,٥ ولا يوجد انفصام والمكسر محاري. الوزن النوعي = ٢,٣٢. تحت الميكروسكوب، يتميز الكريستوباليت بقرينة الانكسار المزدوج المنخفضة والتضاريس السالبة المتوسطة. المعدن احادي المحور سالب، ويبلغ معامل الانكسار $(\omega) = 1,489$ و $(\epsilon) = 1,482$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,007$.

التواجدات والصحية المعدنية

يتواجد الكريستوباليت مصاحباً لمعدن التريديميت بالصخور البركانية الحامضية والمتوسطة. يساعد التبريد السريع على عدم تحوله إلى الفا كوارتز. كما يوجد على شكل حبيبات كروية مألئة للفراغات بالصخور البركانية الفقاعية أو كمحتوى أساسي ضمن المكونات الرئيسية بالصخر. تم التعرف على الكريستوباليت بصخور النيازك، وكذلك بصخور الحجر الرملي المتأثرة بفعل الارتفاع الحراري من جراء التحول التلامسي. يتواجد المعدن بنفس الأماكن المتواجد فيها معدن التريديميت.

الاستخدامات: مصدر للسيليكون.

مجموعة الفلسبار Feldspar Group

تتكون كلمة الفلسبار من مقطعين، كلاهما يحمل معنى مختلف، المقطع الأول وهو كلمة "فلد" وتعني حقل، والمقطع الآخر "سبار" وتعني سهل الانفصام. تم إعطاء هذا الاسم عام ١٧٤٧ بواسطة العالم جوهان جوتشاك ووليريوس Johan Gott Scalk Wallerius. تعتبر معادن الفلسبار من أكثر المعادن إنتشاراً في القشرة الأرضية (حوالي ٦٠% من مجموع مكونات القشرة الأرضية). يطلق اسم الفلسبار على مجموعة من المعادن التي تحمل

الصيغة الكيميائية $XAl(Al,Si)_3O_8$ ، حيث $X = \text{صوديوم و/أو كالسيوم و/أو بوتاسيوم}$. تشتمل مجموعة معادن الفلسبار على مجموعتين رئيسيتين، هما:

● معادن الفلسبار البوتاسى Potassium Feldspar Subgroup

* الأرثوكليز $KAlSi_3O_8$

* السانيدين $KAlSi_3O_8$

* الميكروكلين $KAlSi_3O_8$

* أديولاريا $KAlSi_3O_8$

● معادن الفلسبار البلاجيوكليزي

* ألبيت $NaAlSi_3O_8$

* أوليجوكليز $(Na,Ca)AlSi_3O_8$

* أنديزين $(Na,Ca)AlSi_3O_8$

* لابرادوريت $(Na,Ca)AlSi_3O_8$

* بيتونيت $(Na,Ca)AlSi_3O_8$

* أنورثيت $CaAl_2Si_2O_8$

● ومن المعادن الأخرى للفلسبار

* أنورثوكليز $Anorthoclase (K,Na)AlSi_3O_8$

* سيلزيان $Celsian$

* باراسيلزيان $Paracelsian$

* هيلوفان $Hyalophane$

* بيرثيت $Perthite$

* سفياتوسلافيت $Svyatoslavite$

* ديمشتاينبيرجيت $Dmsteinbergite$

● وهناك أيضاً معادن من الفلسبار النادرة الوجود، مثل

* بودينجتونيت $(NH_4)AlSi_3O_8$ Buddingtonite

* ريدميرجنيريت $NaBSi_3O_8$ Reedmergnerite

* سلاوسونيت $(Sr,Ca)Al_2Si_2O_8$ Slawsonite

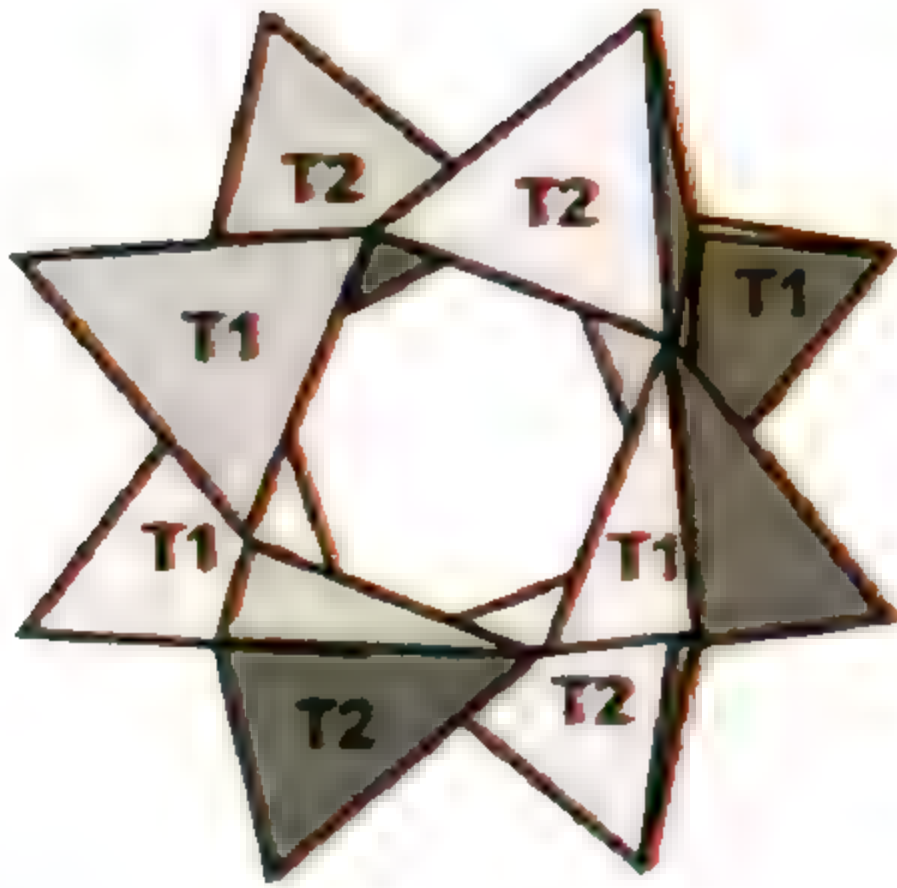
* بانالسيت $BaNa_2Al_4Si_4O_{16}$ Banalsite

* سترونالسيت $\text{SrNa}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ Stronalsite

* ليسيتيت $\text{CaNa}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ Lisetite

يمكن التمييز بين الأنواع المختلفة لمجموعة معادن الفلسبار من خلال التعرف على بنياتها البلورية وتركيبها الكيميائي. كما تساعد الدراسات البتروجرافية إلى حد ما في التعرف على بعض أنواع معادن تلك المجموعة. تعتبر المجموعة التحتية للفلسبار البوتاسي مثالاً لمتعدات الأشكال، حيث أنها متشابهة في التركيب الكيميائي (KAlSi_3O_8) ومختلفة في بنيتها البلورية. تمثل المجموعة التحتية للفلسبار البلاجيوكليزي سلسلة من المعادن المتصلة، إحدى طرفي السلسلة غني بالصوديوم ويسمى ألبيت ويتكون تحت ظروف حرارة منخفضة بينما الطرف الآخر يسمى الأنورثيت وهو غني بالكالسيوم ويتكون تحت ظروف درجة حرارة أعلى.

البنية البلورية



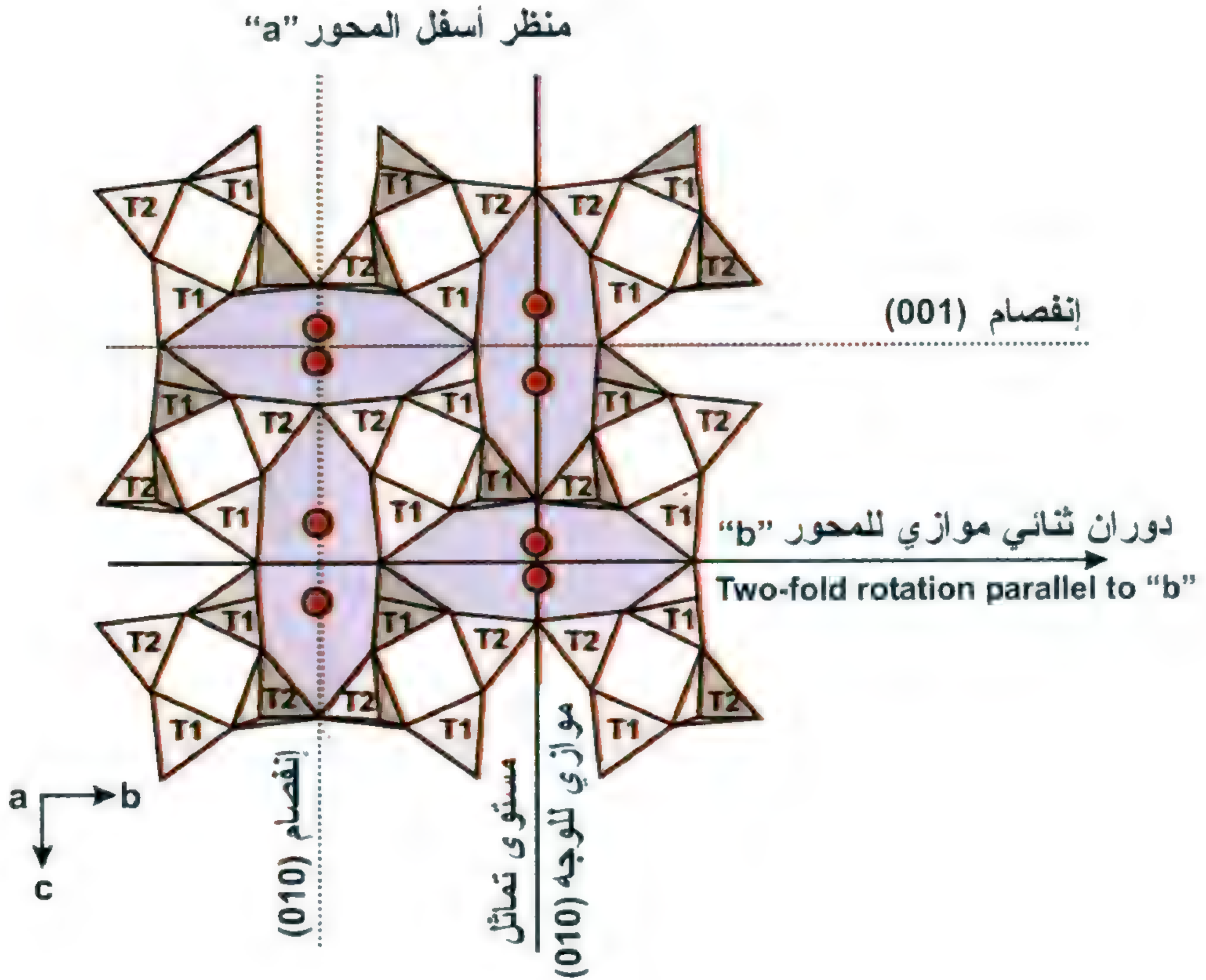
شكل ٧-١٠: الترتيب الحلقي لبنية الفلسبار.

تعتمد البنية البلورية للفلسبار على ترتيب حلقي، بحيث تشتمل كل حلقة على أربع وحدات من رباعي الأوجه (شكل ٧-١٠). تتصل هذه الحلقات مع بعضها لتكون سلسلة مزدوجة عمودية Double crankshaft. تمتلئ الفراغات البينية بتلك السلاسل بالكاتيونات الكبيرة مثل البوتاسيوم K^+ والكالسيوم Ca^{2+} .

تتبلور معادن الفلسبار في فصليتين بلورتين،

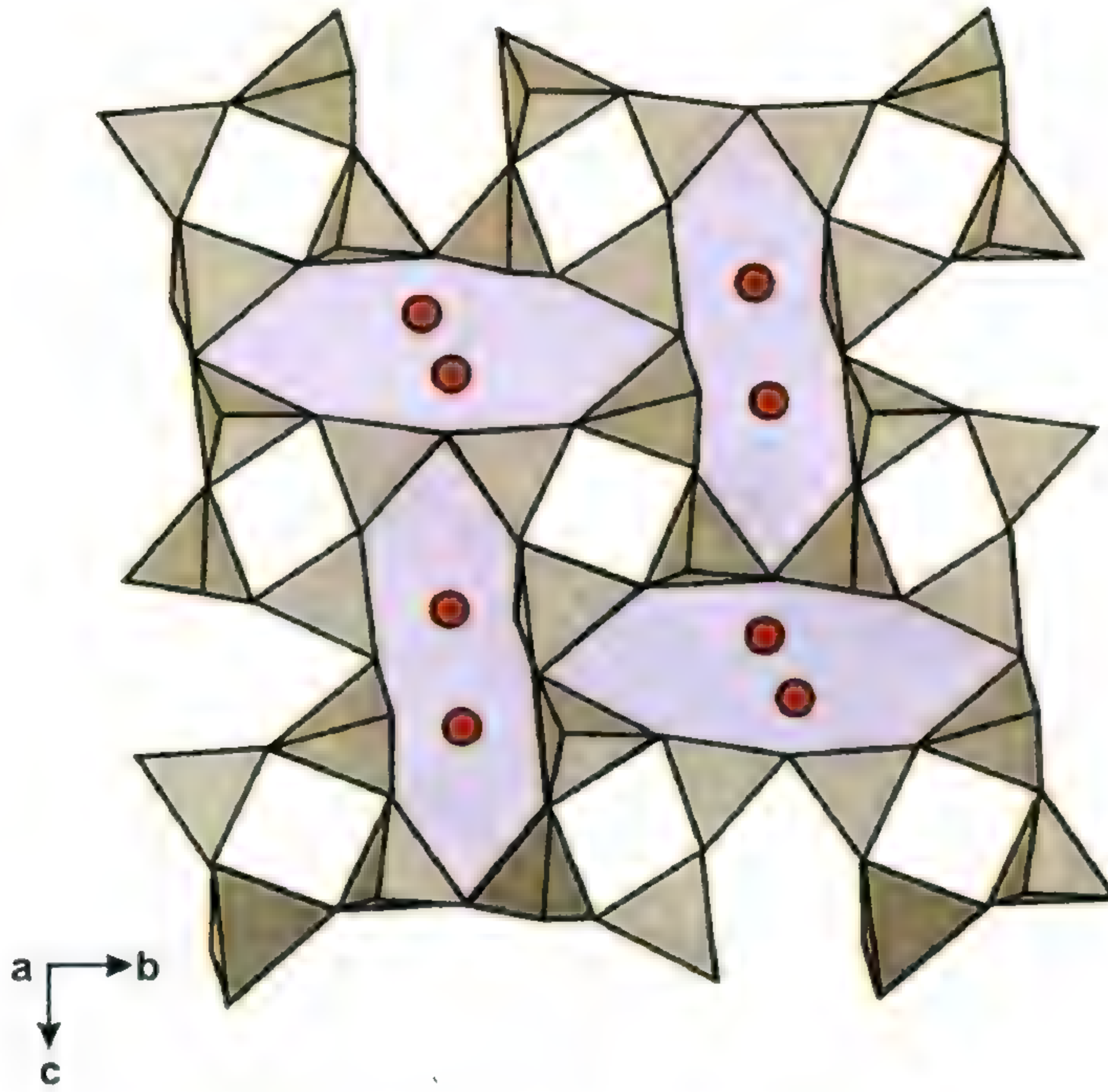
أحادي الميل Monoclinic أو الميول الثلاثة Triclinic. يمثل السانيدين أعلى درجة تماثل بمجموعة معادن الفلسبار ويتبلور في فصيلة الميل الواحد والمجموعة الفراغية $C2/m$. ويمكن اشتقاق البنية البلورية لبقية مجموعة معادن الفلسبار البوتاسي (درجة تماثل أقل) من السانيدين عن طريق عملية انتقال للصنف بالإزاحة Displacive phase transition (أي ينتقل من صنف إلى آخر بتشوه الفراغات البينية بالبنية البلورية للسانيدين نتيجة تغير درجة

الحرارة) أو إعادة ترتيب الكاتيونات وخصوصاً الألومنيوم أو كلاهما. تقوم البنية البلورية للسائيدين على شبكية ممتدة في ثلاث اتجاهات لوحداث رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 والألومنيومي AlO_4 (شكل ٧-١١). تتصل تلك الوحدات فيما بينها عن طريق أركانها Corner-sharing. يمكن تمييز موقعين من رباعيات الأوجه بالبنية البلورية للسائيدين، هما T_1 و T_2 . يوضح هذا الشكل حجم الفراغات الناتجة عن ترتيب السلاسل العمودية crankshafts والتي يمكن ملئها بالكاتيونات القلوية المختلفة (صوديوم، بوتاسيوم، كالسيوم) في تناسق تساعي 9-fold coordination. ينشأ الانفصام موازياً للوجه (010) و (001).



شكل ٧-١١: البنية البلورية للسائيدين.

تعتمد مدى إستقرارية تلك الشبكية من رباعيات الأوجه إلى حد كبير على مدى ملائمة الكاتيونات لملء الفراغات البينية بتلك البنية. فلو أن الكاتيونات صغيرة جداً في الحجم، فإن البنية سوف تتشوه عند درجات الحرارة المنخفضة لكي تقلل حجم الفراغ بالموقع (شكل ٧-١٢). هذا الوضع يؤدي إلى عملية إنتقال للصنف بالإزاحة. في حالة درجات الحرارة العالية، يكون هناك حرية لحركة وتذبذب الكاتيونات مما يساعد على عدم إنهيار أو تشوه البنية البلورية.



شكل ٧-١٢: بنية بلورية مشوهة نتيجة إنخفاض درجة الحرارة. بالمقارنة مع شكل ٧-١١، لاحظ مدى التشوه في الفراغات البينية (لون أزرق شاحب).

(<http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>)

يؤدي إنتقال الصنف من حالة إلى أخرى إلى عملية دوران متماثلة في كل رباعيات الأوجه المتشاركة في أركانها، والتي تعمل إلى حد ما وكأنها وحدات صلبة متماسكة. يوضح شكل رقم (٧-١٢) مسقط للبنية ذات التماثل $C\bar{1}$ (فصيلة الميول الثلاثة) أسفل المحور "a"، بالمقارنة مع شكل رقم (٧-١١) (تماثل $C2/m$ ، فصيلة الميل الواحد)، لاحظ فقد مستوى التماثل $\{010\}$

وكذلك محور الدوران الثنائي الموازي للمحور "b". يؤدي هذا الفقد في بعض عناصر التماثل إلى وجود ما يسمى بتوأم التحويل Transformation twins.

تتشابه البنية البلورية للألبيت ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) مع مثيلتها للسانيدين عند درجات الحرارة التي تلو 980°C . ولكن عند درجة أقل من 980°C يحدث تشوه للبنية البلورية حول كاتيون الصوديوم الصغير مما يؤدي إلى تغيير التماثل من أحادي الميل Monoclinic ($C2/m$) إلى ثلاثي الميل Triclinic ($C\bar{1}$) (شكل ٧-١٣).

ترتيب وعدم ترتيب الألومنيوم والسيليكون بالفلسبار

Al-Si Order and Disorder in Feldspar

يوجد بالفلسبار البوتاسي موقعين لرباعي الأوجه (T_1, T_2)، تشغل ذرات الألومنيوم والسيليكون هذين الموقعين بحيث يحدث لهما نوع من عدم الترتيب عند درجات الحرارة العالية. ينتج عن ذلك بنية ذات تماثل أحادي الميل ويسمى المعدن في هذه الحالة بالسانيدين. ومع التبريد، يحدث نوع من الترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون بحيث لا تشغل ذرات الألومنيوم مواقع متجاورة من رباعيات الأوجه وتسمى هذه العملية "قاعدة تجنب الألومنيوم Al avoidance principle"، فينتج عن ذلك بنية ذات تماثل ثلاثي الميل ويسمى المعدن في هذه الحالة بالميكروكلين.

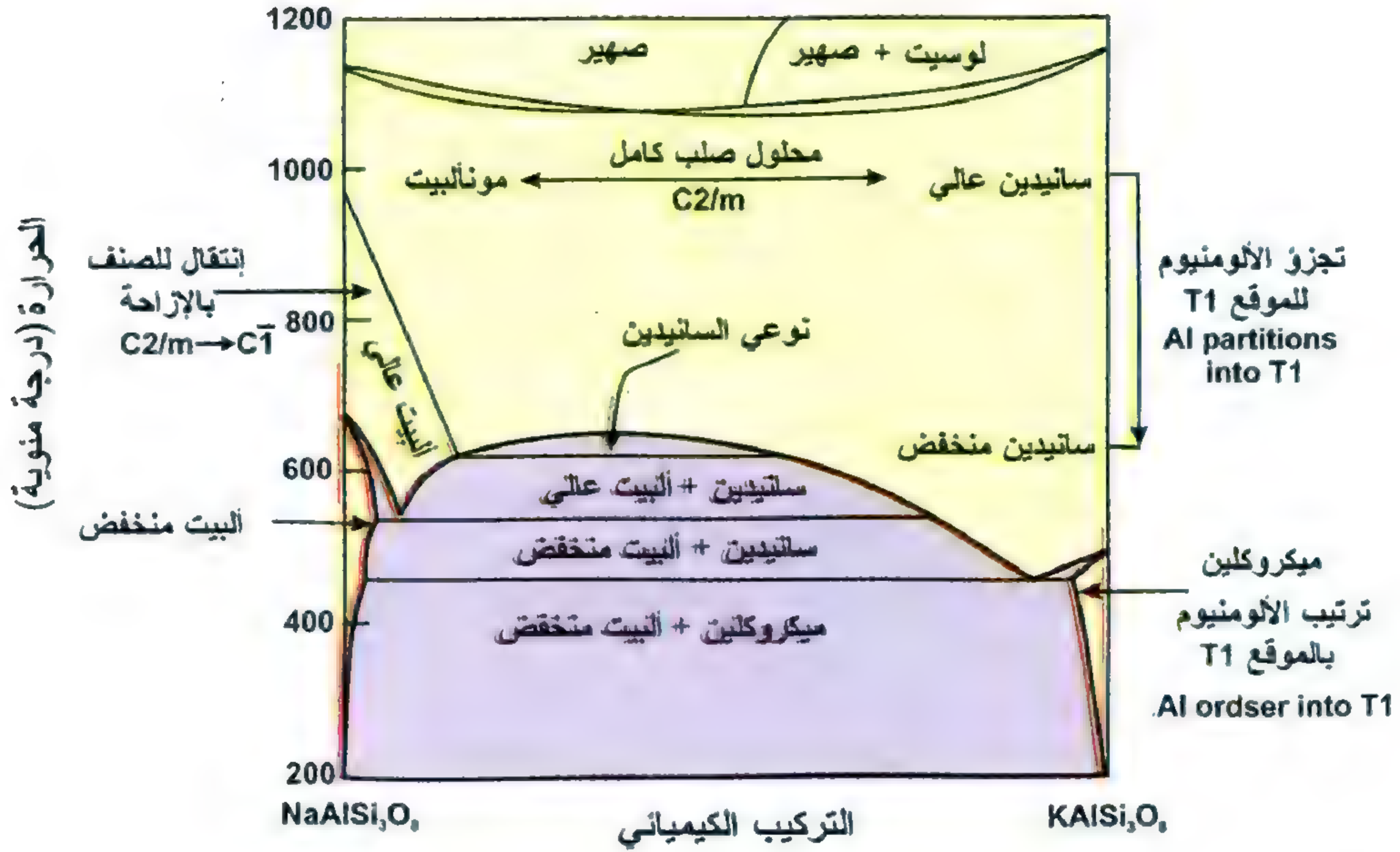
نخلص من ذلك إلى أن هناك طريقتين يحدث من خلالهما انتقال لمستويات التماثل بالسانيدين (من التماثل $C2/m$ إلى التماثل $C\bar{1}$)، الطريقة الأولى متمثلة في تشوه البنية الشبكية للسانيدين عندما يكون الكاتيون الذي يشغل الفراغات البينية صغير في الحجم وتسمى هذه العملية بالانتقال الصنف بالإزاحة Displacive phase transition وتسمى الطريقة الأخرى بالانتقال الصنف عن طريق ترتيب ذرات الألومنيوم والسيليكون Al-Si cation ordering phase transition. يظهر تأثير كل من الطريقتين بوضوح في نظام الفلسبار البوتاسي.

يمكن توضيح عمليات التغير التي تتم بالبنية البلورية لمعادن الفلسبار من خلال مخطط ثنائي الصنف Binary phase diagram والموضح بالشكل رقم (٧-١٣)، يتضح من هذا الشكل الآتي:

١- الفلسبار الغنى بالصوديوم Albite-rich feldspar: يتخذ الألبيت تماثل أحادي الميل ($C2/m$) عند درجات حرارة تزيد عن $980^{\circ}C$ حيث يكون هناك نوع من عدم الترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون. يسمى هذا الصنف باسم مونألبيت Monalbite. عند درجات حرارة أقل من $980^{\circ}C$ تتحول البنية من التماثل الأحادي الميل ($C2/m$) إلى التماثل ثلاثي الميول ($C\bar{1}$) عن طريق عملية الانتقال بالإزاحة. عندما تصبح البنية ذات تماثل ثلاثي الميل، يحدث عملية ترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون. تسمى البنية في هذه الحالة باسم الألبيت العالي High albite. عند درجات حرارة حوالي $520^{\circ}C$ ، تزداد درجة الترتيب لذرات الألومنيوم والسيليكون بسرعة كبيرة وتسمى البنية في هذه الحالة باسم الألبيت المنخفض Low albite. لاحظ أن الانتقال من المونألبيت إلى الألبيت العالي من نوع الانتقال بالإزاحة حيث يحدث تغير في درجة التماثل، بينما الانتقال من الألبيت العالي إلى الألبيت المنخفض ليس من نوع انتقال الصنف بالإزاحة لأن كلا المعدنين لهما نفس التماثل $C\bar{1}$.

٢- الفلسبار الغنى بالبوتاسيوم Potassium-rich feldspar: عند درجات الحرارة العالية، تنتشر ذرات الألومنيوم والسيليكون بشكل عشوائي خلال مواقع رباعي الأوجه وتسمى هذه البنية باسم السانيدين العالي High sanidine. مع انخفاض درجات الحرارة، فإنه يحدث تجزئة تدريجية Gradual partitioning لذرات الألومنيوم إلى داخل الموقع T1 (سانيدين منخفض Low sanidine). لاحظ أن الانتقال من السانيدين العالي إلى السانيدين المنخفض لا يصاحبه تغير في درجة التماثل. عند درجات حرارة أقل من $480^{\circ}C$ ، يحدث نوع من الترتيب لذرات

الألومنيوم بالموقع T1 ومن ثم يحدث إنتقال من التماثل أحادي الميل $C2/m$ (السانيدين) إلى التماثل ثلاثي الميل $C\bar{1}$ (الميكروكلين).

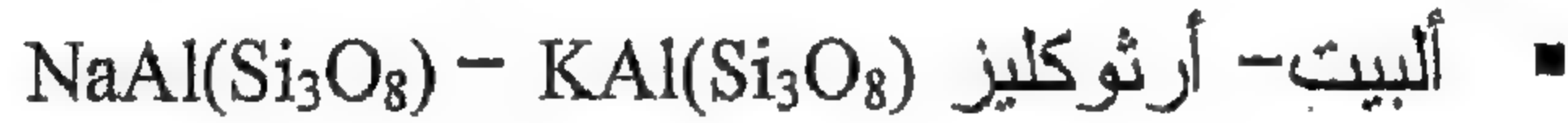


شكل ٧-١٣: مخطط صنف ثنائي Binary phase يبين تغير أصناف الفلسبار مع تغير درجات الحرارة والتركيب الكيميائي. <http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>

كيميائية المعدن

يمكن تصنيف الفلسبار كيميائياً إلى سلسلتين هامتين من المحاليل الصلبة:

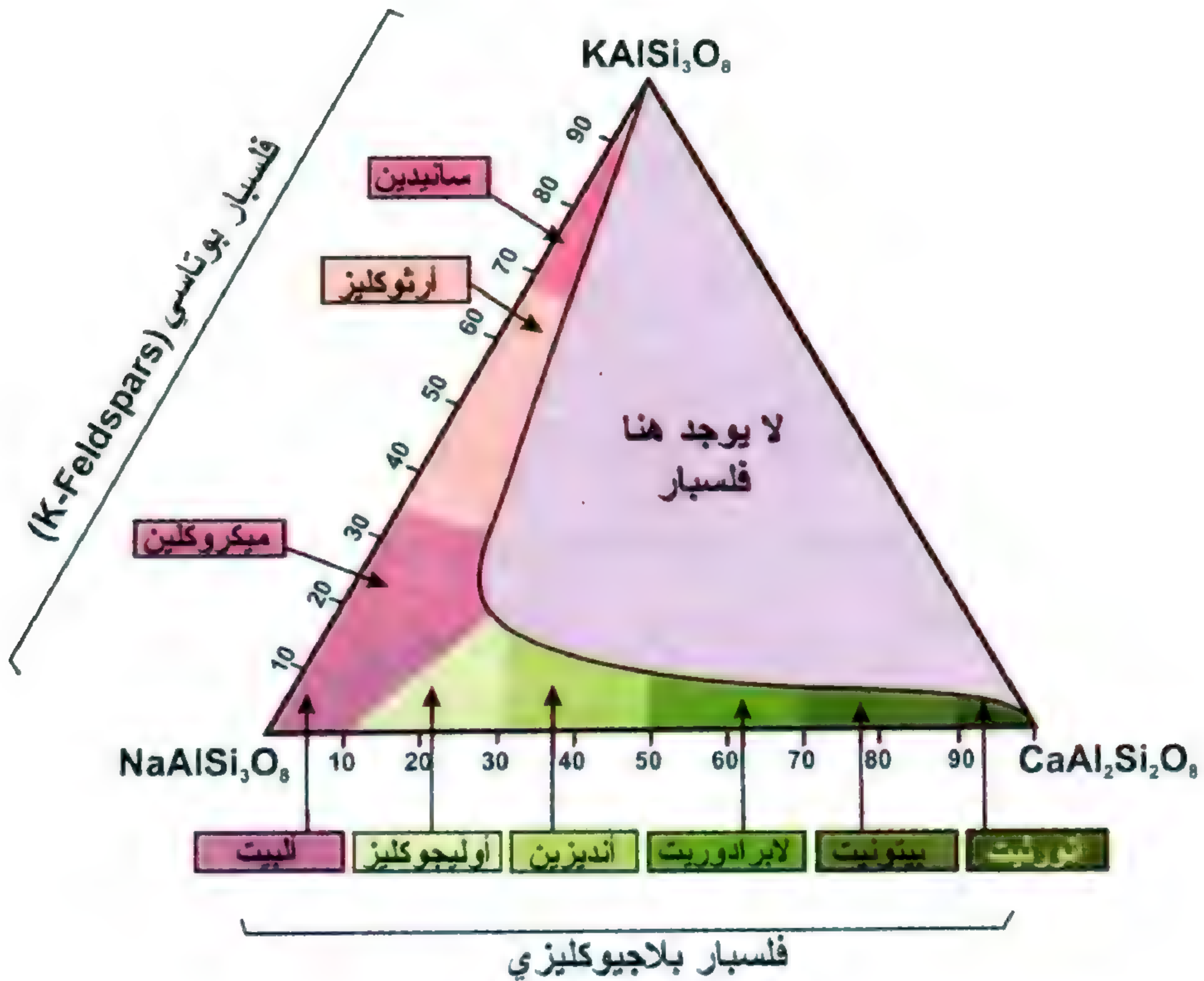
- سلسلة الفلسبار البوتاسي (شكل ٧-١٤):



- سلسلة الفلسبار البلاجيوكليزي:



تتمثل سلسلة الفلسبار البوتاسي في عملية إستبدال البوتاسيوم محل الصوديوم وتظل نسبة الألومنيوم إلى السيليكا ثابتة في معظم التراكيب. وتتمثل سلسلة الفلسبار البلاجيوكليزي في عملية إحلال مزدوج لعنصري الصوديوم والسيليكون محل الكالسيوم والألومنيوم $(Na^+ + Si^{4+}) = (Ca^{2+} + Al^{3+})$ مع إنخفاض درجات الحرارة. وتتغير نسبة الألومنيوم إلى السيليكون $(Si:Al)$ من ٣:١ إلى ١:١ عبر سلسلة المحلول الصلب. يؤدي هذا النوع من الإستبدال المزدوج إلى ترتيب كاتيوني معقد وإلى ظاهرة لفظ المحاليل أو انفصال المحاليل Exsolution عند درجات الحرارة المنخفضة. كما تساعد المرونة في الشبكية البلورية لمعادن الفلسبار إلى القدرة على إستضافة أنواع من الكاتيونات مختلفة الحجم، مثل الروبيديوم Rb^+ والسيزيوم Cs^+ والباريوم Ba^{2+} والسترنشيوم Sr^{2+} والرصاص Pb^{2+} وأيضاً أيونات متعددة الذرات مثل NH_4^+ .



شكل ٧-١٤: تصنيف الفلسبار.

جدول ٧-٢: أمثلة للتحاليل الكيميائية لمعادن الفلسبار.

١	٢	٣	٤	
٦٥,٣٢	٥٨,١٤	٥٣,٠٦	٤٦,٦٤	SiO ₂
٢٢,٦١	٢٦,٨٧٣	٢٨,٩٥	٣٤,٣٦	Al ₂ O ₃
٠,٠٣	٠,٠٠	٠,٦٠١	٠,٣٤	FeO
٣,٢٢	٩,٢٦٢	١١,٦٦	١٧,٨١	CaO
١٠,٢٨	٦,٣٩٧	٤,٨٨	١,٧٠	Na ₂ O
٠,١٧	٠,١٢٣	٠,٠٥١	٠,٠٢	K ₂ O
١٠١,٦	١٠٠,٨	٩٩,٢٠	١٠٠,٨	المجموع

٨ ذرة أكسجين

٢,٨٤	٢,٥٨٤	٢,٤٢٥	٢,١٣	Si
١,١٦	١,٤٠٦	١,٥٥٨	١,٨٥	Al
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٢٣	٠,٠١	Fe ²⁺
٠,١٥	٠,٤٤١	٠,٥٧١	٠,٨٧	Ca
٠,٨٧	٠,٥٥١	٠,٤٣٢	٠,١٥	Na
٠,٠١	٠,٠٠٧	٠,٠٠٣	٠,٠٠	K
٠,٩٠	٠,٧٠	٠,٣٠	٠,١٠	Or
٨٤,٤٨	٥٥,٢٠	٤٢,٩٠	١٤,٧٣	Ab
١٤,٦٢	٤٤,١٠	٥٦,٨٠	٨٥,١٧	An

An = أنورثيت ، Ab = ألبيت ، Or = أرثوكليز

١ = أوليجوكليز بصخور النيس بمنطقة وادي حيمور - أبوسويل، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وفريش ٢٠٠٢ Abd El-Naby and Frisch)

٢ = أنديزين بصخور النيس بوادي جيثوا Wadi Jithwah، المملكة العربية السعودية (الفيلاي وعبد النبي ٢٠٠٣ Al-Filali and Abd El-Naby).

٣ = لابرادوريت بصخور الامفيبوليت بمنطقة حفافيت، مصر (عبد النبي وفريش، تحت التحضير In preparation).

٤ = بيتونيت بصخور الامفيبوليت بمنطقة وادي حيمور، جنوب الصحراء الشرقية، مصر (عبد النبي وآخرون ٢٠٠٠).

جدول ٧-٢ : تابع

٨	٧	٦	٥	
٦٢,١٢	٦٤,٦٤	٤٣,١٤	٥٠,٣٥	SiO ₂
٢٢,١٦	١٩,٠٢	٣٦,٦٤	٣١,٨٩	Al ₂ O ₃
٠,٠٣	٠,٠٨	٠,٠٦	٠,١٣٨	FeO
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٦	٠,٠٠	MnO
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٣٢	٠,٠٠	MgO
٣,٥٠	٠,٠٠	٢٠,٢٨	١٥,٥٥	CaO
٧,١٥	٠,٩٧	٠,٠٢	٢,٦٧	Na ₂ O
٣,٨٤	١٥,٦٦	٠,٠٠٠	٠,٠٢٧	K ₂ O
٩٨,٨٠	٩٩,٠٦	١٠٠,٥٢	١٠٠,٥	المجموع

٨ ذرة أكسجين

٢,٨١	٢,٩٧	١,٩٩	٢,٢٨٣	Si
١,١٨	١,٠٣	١,٩٩	١,٧٠٣	Al
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠٥	Fe ²⁺
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٠	Mn
٠,٠٠	٠,٠٠	٠,٠٢	٠,٠٠	Mg
٠,١٧	٠,٠٠	١,٠٠	٠,٧٥٥	Ca
٠,٦٣	٠,٠٨	٠,٠٠	٠,٢٣٥	Na
٠,٢٢	٠,٩٢	٠,٠٠	٠,٠٠٢	K
٢١,٠	٩١,٤	٠,٠٠	٠,٢٠	Or
٦٢,٠	٨,٦٠	٠,٢٠	٢٣,٧٠	Ab
١٧,٠	٠,٠٠	٩٩,٨٠	٧٦,١٠	An

٥ = بيتونيت بصخور الالمفيبوليت بمنطقة حفافيت، مصر (عبد النبي وفريش، تحت التحضير In preparation).

٦ = أنورثيت بالصخور الرسوبية المتحولة Metasediments بمنطقة القطة، المملكة العربية السعودية (درووب والفيلاي ١٩٩٦ Droop and Al-Filali).

٧ = سانيدين بصخور الشيست بمنطقة محيتق Méatq، الصحراء الشرقية، مصر (نويمير وأخرون ١٩٩٨ Neumayr et al.).

٨ = ميكروكلين بصخور الميتابوليت بمنطقة ساو فرانسيسكو São Francisco، جنوب شرق البرازيل (نيتو وكابي ١٩٩٩ Neto and Caby).

ظاهرة انفصال المحلول في الفلسبار

Exsolution Phenomena in Feldspar

كما إتضح من الفقرة السابقة، يصنع كل من الفلسبار البلاجيوكليزي والبوتاسي سلاسل من المحلول الصلب Solid-solution series عند درجات الحرارة العالية. مع التبريد والتبلور، يحدث نوع من الفصل للفلسبار ليكون تركيبين مختلفين وخصوصاً عندما تكون معدلات التبريد منخفضة بالدرجة التي تسمح بفصل الأيونات وتكوين صنفين من الفلسبار. في هذه الحالة، ينفصل الفلسبار البلاجيوكليزي ليكون ألبيت (فلسبار غني بالصوديوم) وأنورثيت (فلسبار غني بالكالسيوم)، بينما ينفصل الفلسبار القلوي ليكون فلسبار غني بالبوتاسيوم وألبيت غني بالصوديوم.

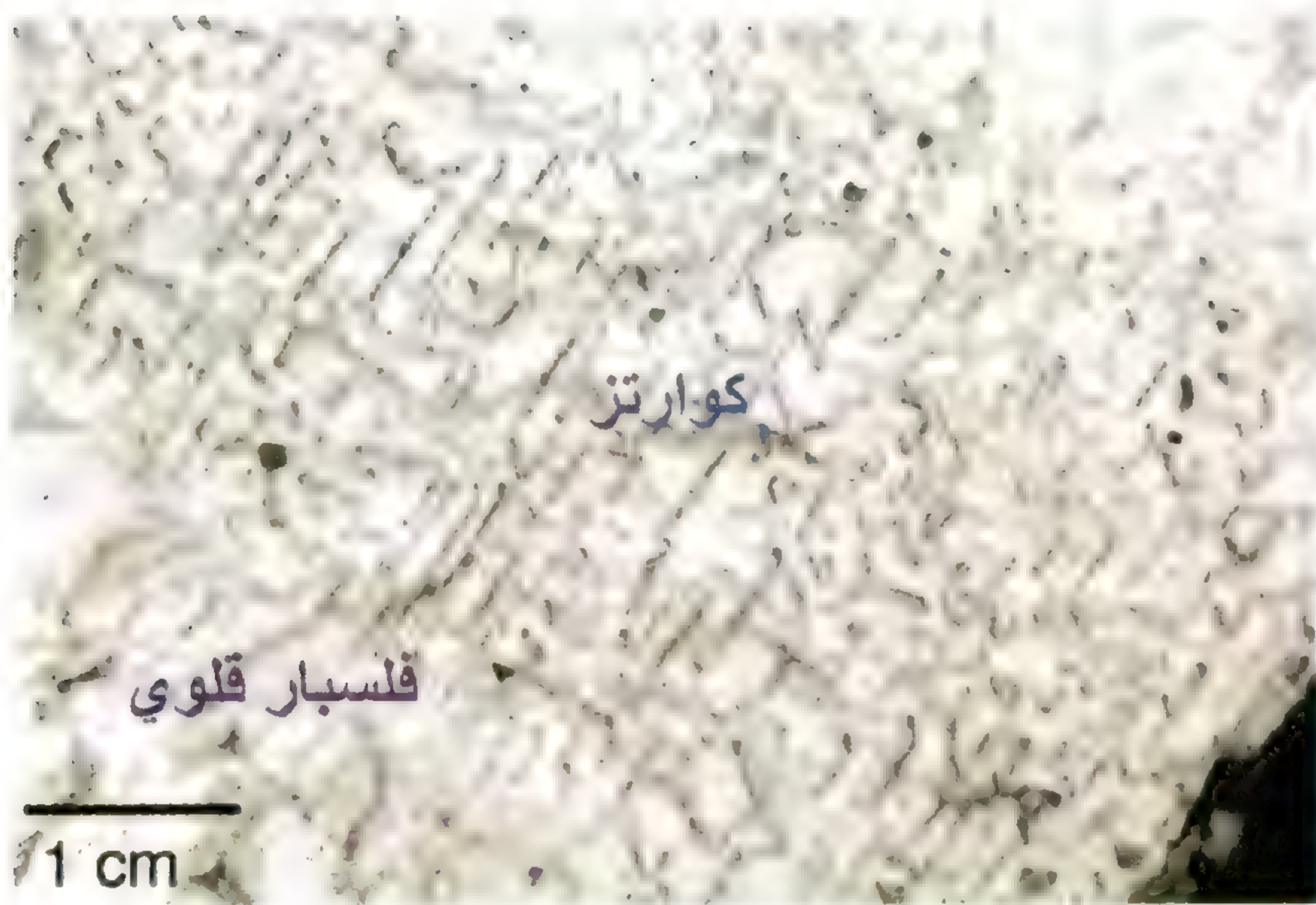
عندما يتبلور الفلسبار القلوي (سانيدين وأرتوكليز وألبيت) عند درجات حرارة عالية نسبياً، فإن كل من أيونات البوتاسيوم والصوديوم يمكنها تبادل المواقع ببنية الفلسبار القلوي، وذلك لأن التذبذب الحراري لكل من الكاتيونين عند درجات الحرارة العالية يزيل تأثير فرق الحجم الأيوني بينهما. ولكن مع هبوط درجة الحرارة، تقل أيضاً درجة التذبذب الأيوني، وبالتالي فإن أيوني البوتاسيوم والصوديوم يتحركا في صفائح أو طبقات مختلفة تمثل إحداها الأرتوكليز والأخرى الألبيت. تسمى هذه العملية بإنفصال المحلول Exsolution والتي تؤدي إلى تكوين مركبين مختلفين. تختلف حجم الصفائح أو الطبقات من المستوى المرئي بالعين المجردة إلى الحجم الصغير الذي لا يرى إلا بواسطة الميكروسكوب. ومن أنواع الأنسجة التي تنتج من انفصال المحلول في حالة الفلسبار البوتاسي: البيرثيتي Perthite والانتبيرثيتي Anti-perthite.

في حالة الفلسبار البلاجيوكليزي، تتم سلسلة المحلول الصلب من الألبيت إلى الأنورثيت من خلال إستبدال ثنائي لأيوني الصوديوم والسيليكون Na^+ و Si^{4+} وأيوني الكالسيوم والألومنيوم $Ca^{2+} + Al^{3+}$. يحدث نوع من انفصال المحلول عند عمليات التبريد البطيئة وينتج عن ذلك عدة أنسجة، منها النمو المشترك من نوع البيريسيتريت Peristerite وبوجيلد Boggild وهاتينلوشير Huttenlocher، وسوف نتناول بعض الأنسجة بالتفصيل في الفقرة القادمة.

النمو المشترك للفلسبار Feldspar Intergrowths

نتعرف من خلال هذه الفقرة على أنواع الأنسجة المختلفة التي تنتج عن عمليات إنفصال الخليط.

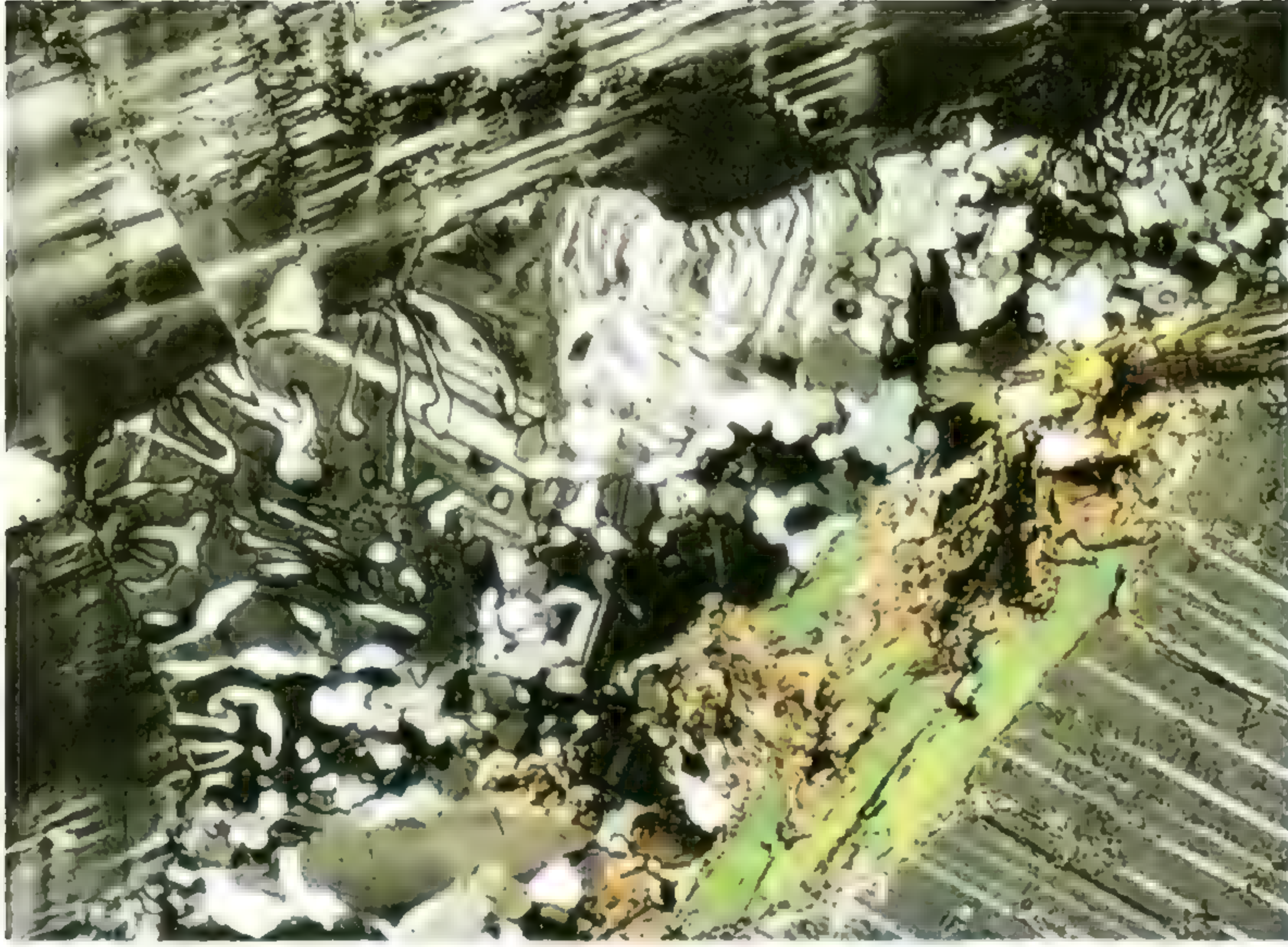
- النمو المشترك الخطي Graphic intergrowth: ينشأ عن نمو مشترك بين بلورات صغيرة من الكوارتز داخل بلورة كبيرة من الفلسبار القلوي. ينتشر هذا النوع من النمو المشترك بصخور البيجماتيت (شكل ٧-١٥).



شكل ٧-١٥: نمو مشترك للكوارتز بالفلسبار القلوي ليكونا نسيج النمو المشترك الخطي.

- النمو المشترك الميرميكتي Myrmekitic intergrowth وهو نمو مشترك من الكوارتز على هيئة ديدان صغيرة داخل البلاجيوكليز وقد يمتد إلى الفلسبار القلوي المجاور (شكل ٧-١٦).

- النمو المشترك الجرانوفيري Granophric intergrowth وفيه تنمو بلورات الكوارتز داخل الفلسبار القلوي على هيئة شعاعية تكون دقيقة في البداية وتنتهي بنسيج خطي سميك (شكل ٧-١٧).



شكل ٧-١٦: نمو مشترك للكوارتز داخل البلاجيوكلينز ليكونا النسيج الميرميكتيني.



شكل ٧-١٧: نمو مشترك للكوارتز داخل الفلسبار القلوي ليكونا نسيج النمو المشترك الجرانوفيري.

• النسيج البيرثيتي Perthite والأنتبيرثيتي Antiperthite وفيه يحدث نمو مشترك بين البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي. يطلق اسم البيرثيت عند تواجد بلورات من البلاجيوكليز داخل بلورات الفلسبار البوتاسي. أما في حالة النمو الأنتبيرثيتي، فيحدث العكس حيث توجد بلورات الفلسبار البوتاسي داخل البلاجيوكليز (شكل ٧-١٨).

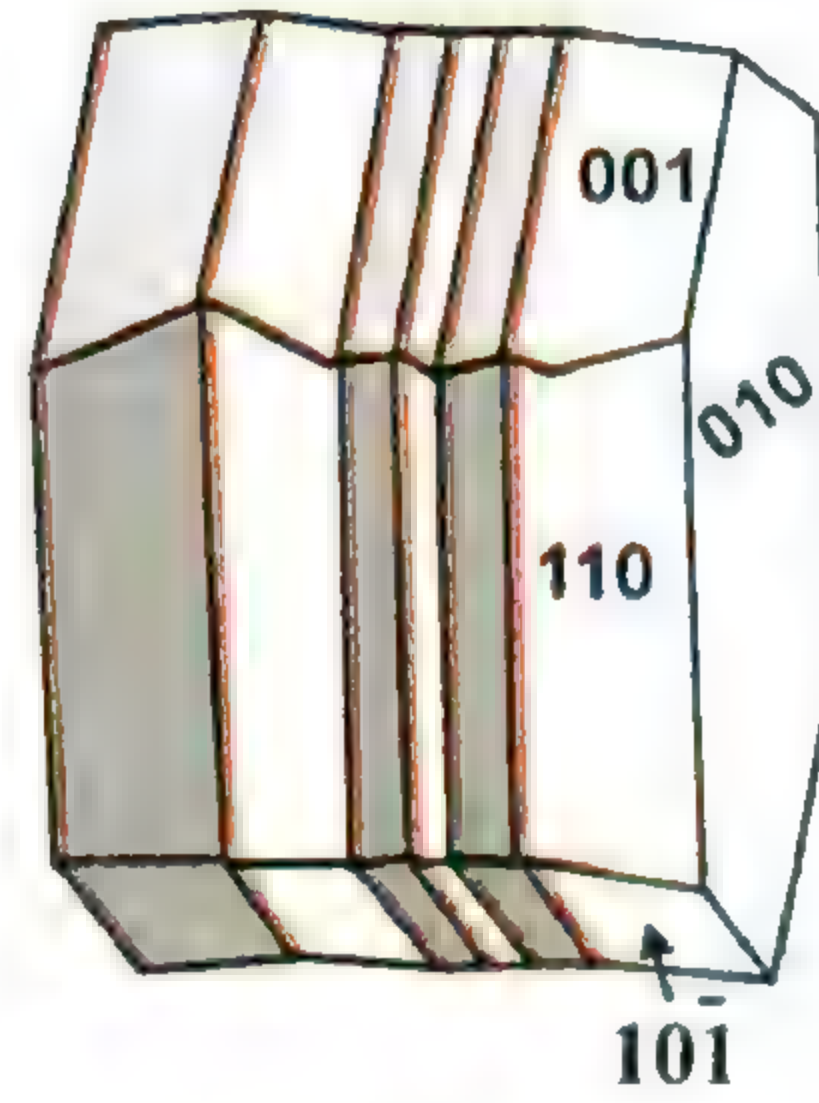
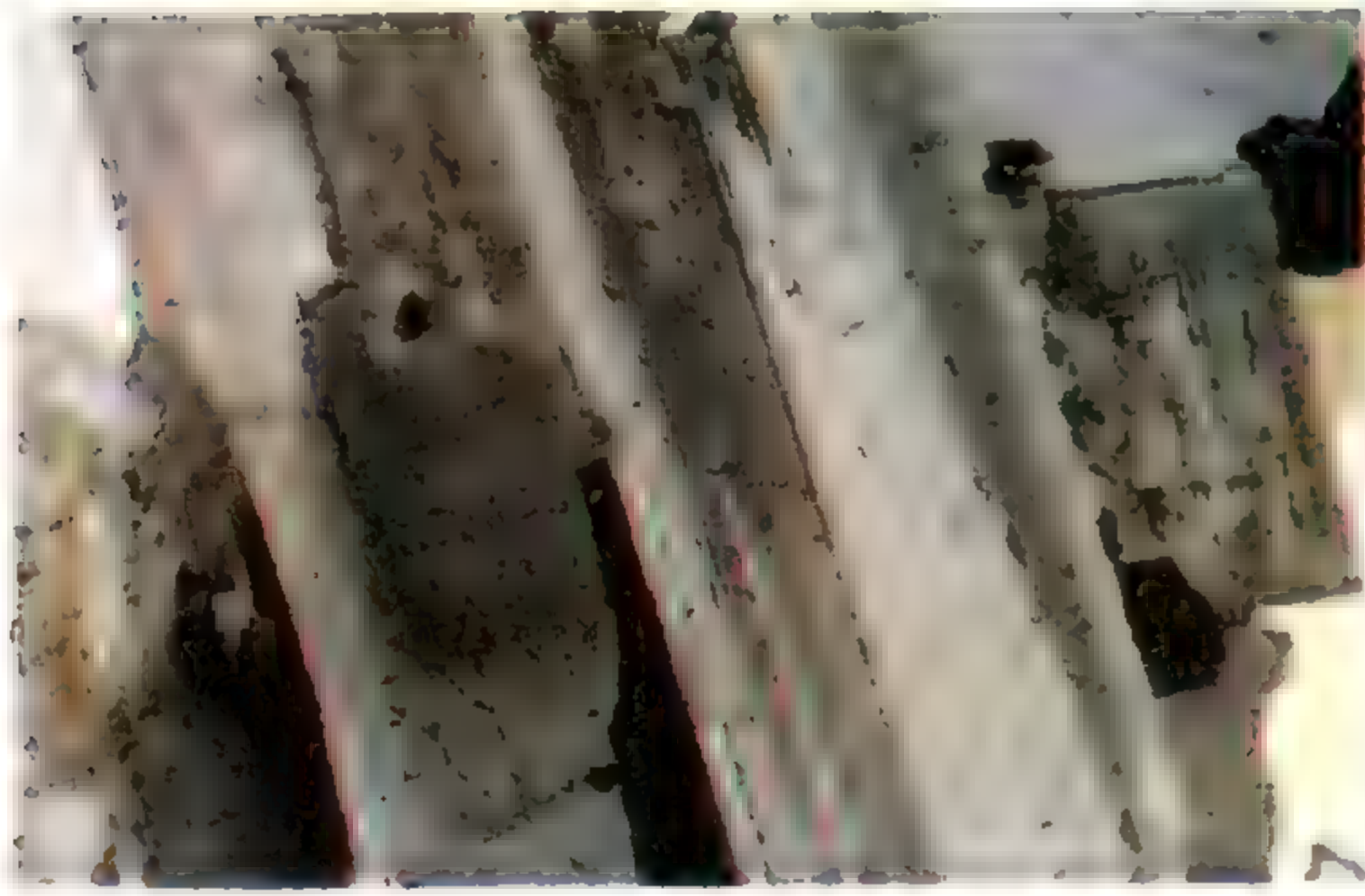


شكل ٧-١٨: (أ) نسيج بيرثيتي ، (ب) نسيج أنتبيرثيتي.

توأمية الفلسبار Feldspar Twinning

تعتبر التوأمية من أحد الخصائص الهامة والمميزة لمعادن الفلسبار، فقد تم تعريف حوالي ٢٠ قانون توأمي بالفلسبار، ولكن تواعم الألبيت والبيريكلين وكارلسباد وبافينو ومانباخ هم الأكثر إنتشاراً. يكثر وجود تواعم الألبيت والبيريكلين بالفلسبار المتبلور بفصيلة الميول الثلاثة ولا يمكن تواجدهما في الفلسبار المتبلور بفصيلة الميل الواحد.

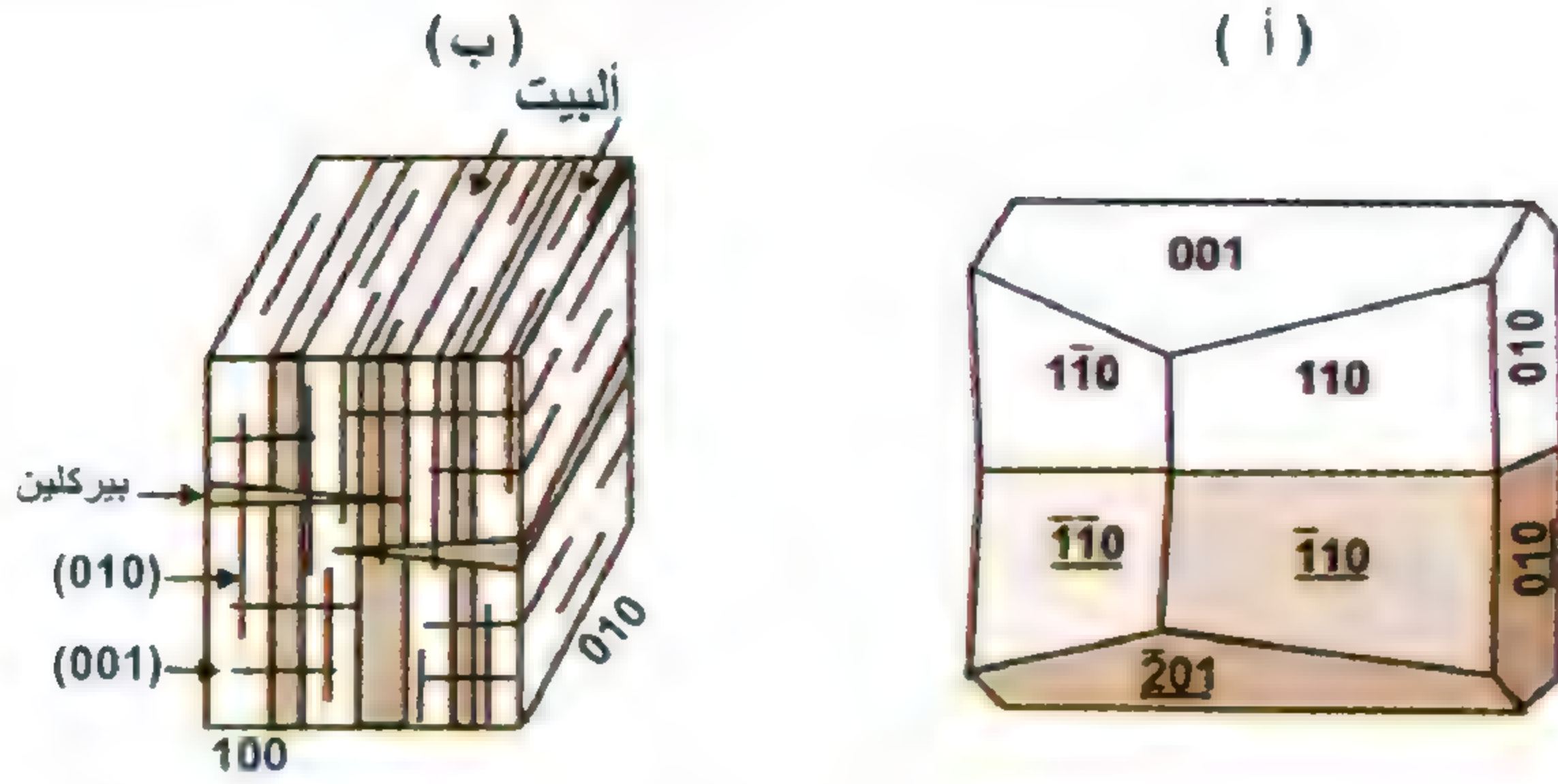
• توأمية الألبيت Albite twinning: ينتج توأم الألبيت من إنعكاس للمستوى التوأمي الموازي للوجه (010) (شكل ٧-١٩). يتميز الألبيت بالتواعم المتعددة Multiple twins. ويميز هذا النوع من التوأمية البلاجيوكليز وليس الفلسبار القلوي.



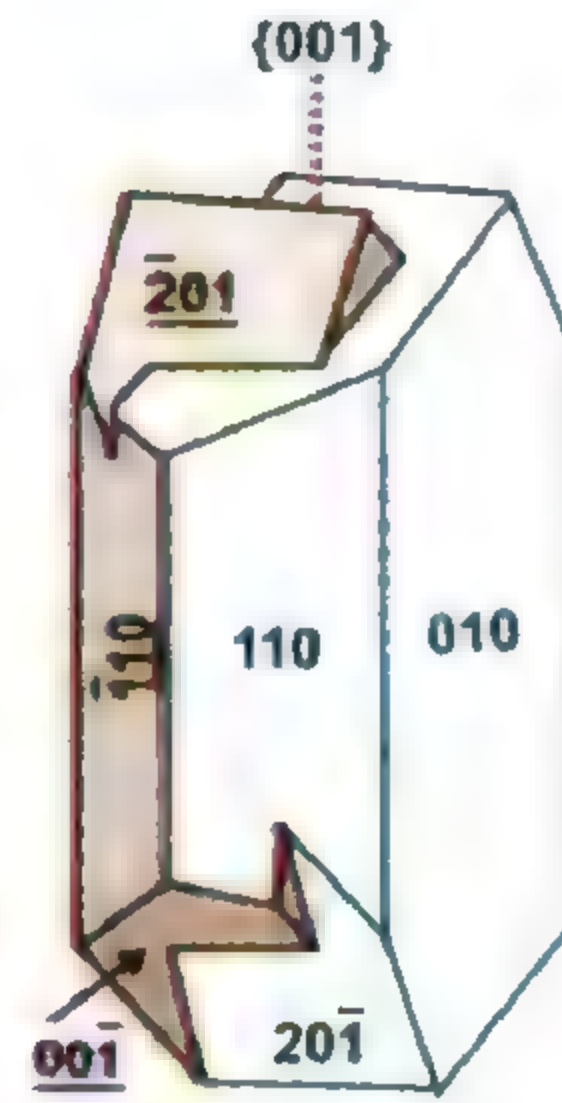
شكل ٧-١٩: تواعم الألبيت موازية للوجه (010).

• توأمية البيريكلين Pericline twinning: عبارة عن تواعم دورانية مع محور توأمي موازي للمستوى {010} (شكل ٧-٢٠).

• توأمية كارلسباد Carlsbad twinning: عبارة عن تواعم دورانية حول محور توأمي موازي للمستوى {001} (شكل ٧-٢١). يتواجد هذا النوع من التوأمية في كل من الفلسبار البوتاسي بأنواعه: الميكروكلين والسانيدين والأرثوكليز. كما يمكن أن يتكون تواعم متلامسة بسيطة أو أنواع مختلقة.

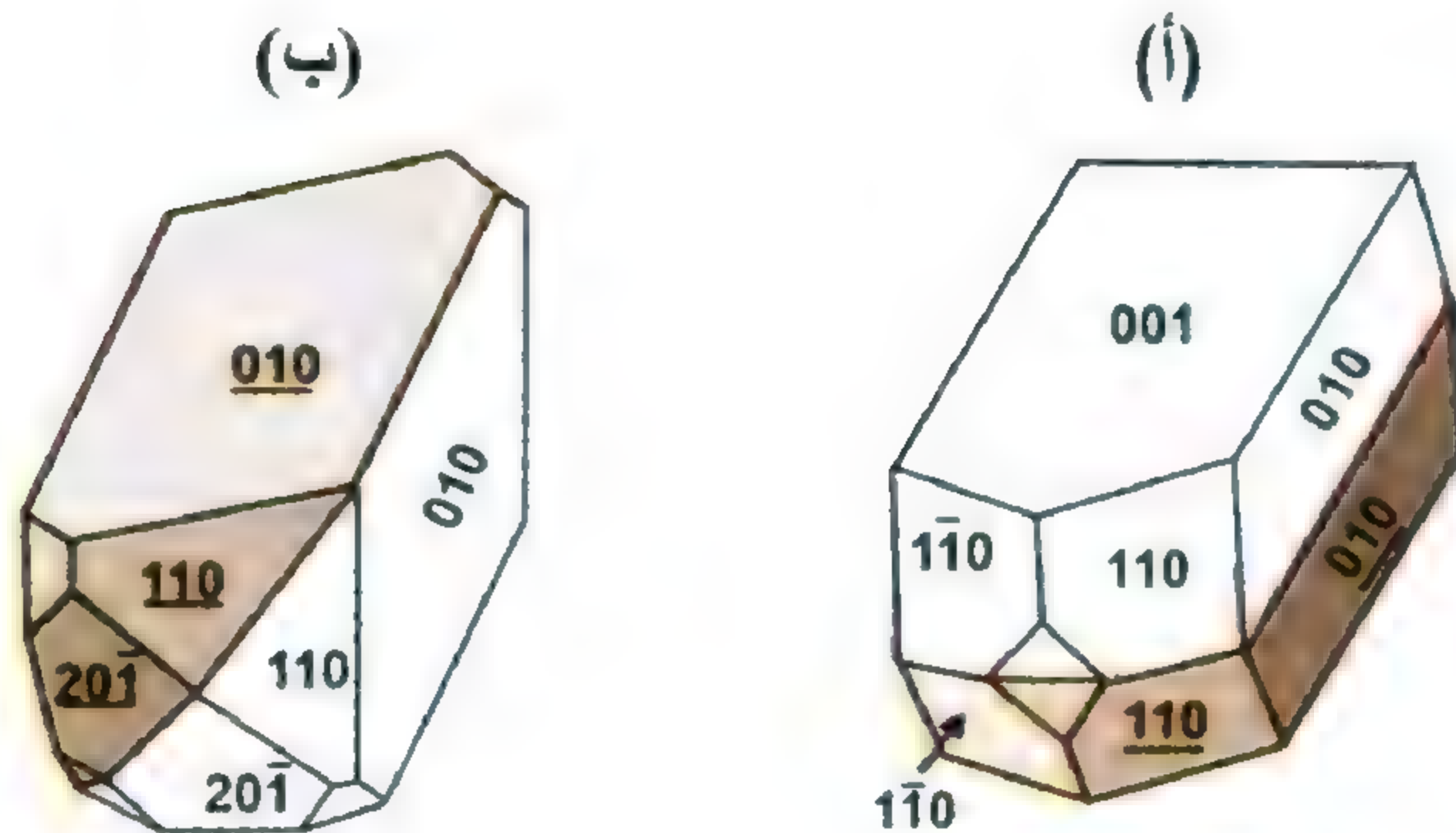


شكل ٧-٢٠: (أ) تواءم بيركلين والناطقة عن دوران حول المستوى $\{010\}$. (ب) تواءم بيركلين والبيت.



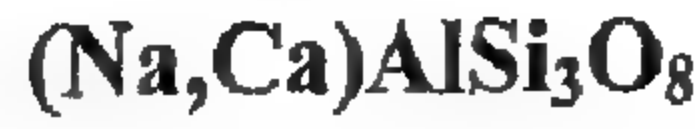
شكل ٧-٢١: تواءم كارلسباد.

● توأمية مانباخ وبافينو Manebach and Baveno: تنتج تواءم مانباخ وبافينو من إنعكاسية على المستوي $\{001\}$ والمستوى الكاذب $\{021\}$ على التوالي (شكل ٧-٢٢). يمكن أن يتواجدوا بكل من بلورات الميل الواحد والميول الثلاثة.



شكل ٧-٢٢: (أ) تواءم مانباخ، (ب) تواءم بافينو

البلاجيوكليز Plagioclase



تُشكل معادن البلاجيوكليز سلسلة كاملة من المعادن المختلفة في التركيب الكيميائي. تمتد هذه السلسلة من الألبيت (بلاجيوكليز غني بالصوديوم $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) إلى الأنورثيت (بلاجيوكليز غني بالكالسيوم $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)، يحل الكالسيوم محل الصوديوم ويصاحب ذلك إحلال للألومنيوم محل السيليكون. وتضم هذه السلسلة ستة معادن تُبعاً لنسبة كل من الألبيت والأنورثيت (جدول ٣-٧). حيث أن:

نسبة الألبيت (Ab%) = الصوديوم / (الصوديوم + الكالسيوم)

نسبة الأنورثيت (An%) = الكالسيوم / (الصوديوم + الكالسيوم)

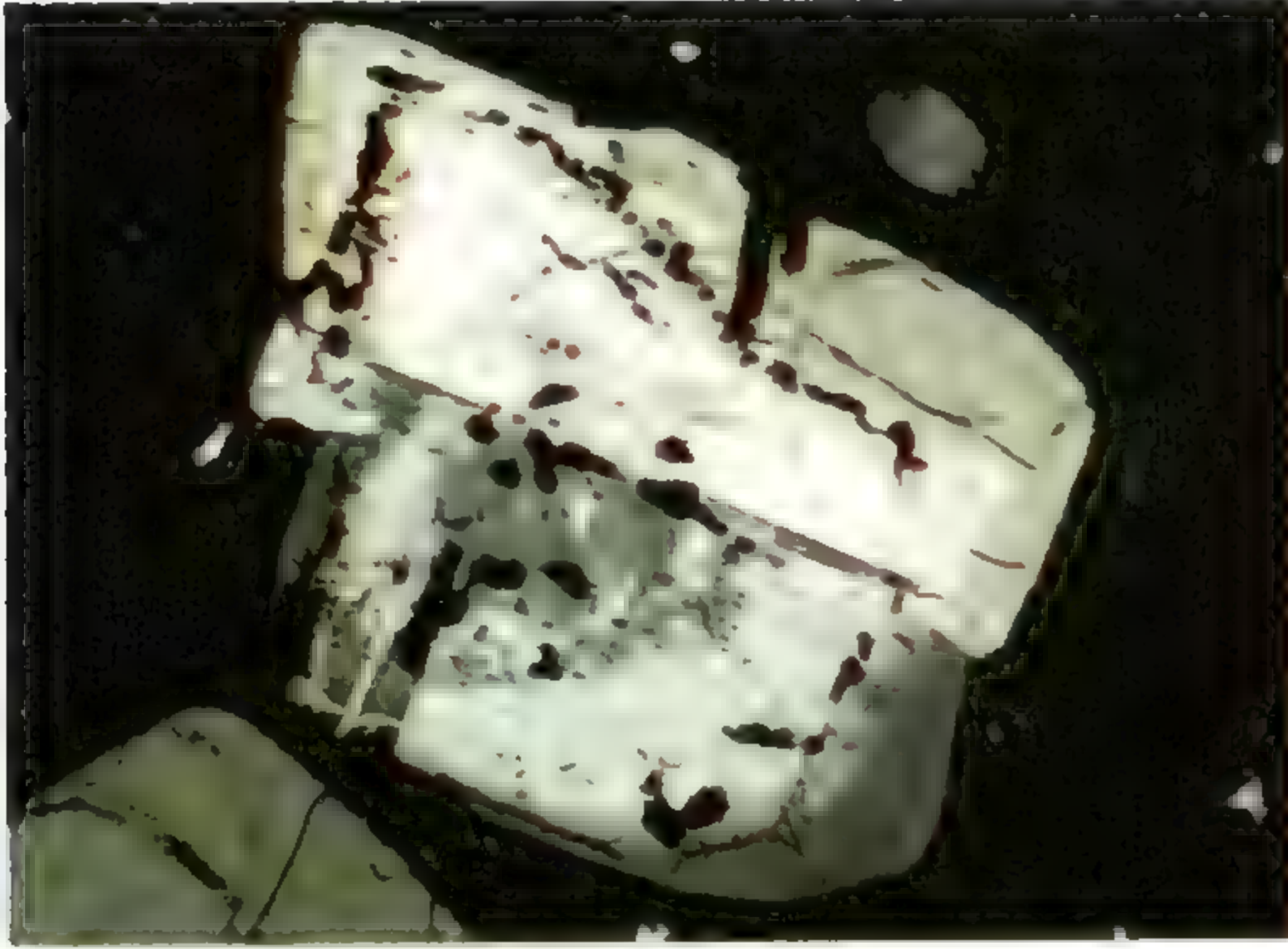
جدول ٣-٧: نسبة الألبيت والأنورثيت بسلسلة معادن البلاجيوكليز

المعدن	% للألبيت	% للأنورثيت
ألبيت	١٠٠ - ٩٠	١٠ - ٠
أوليغوكليز	٩٠ - ٧٠	١٠ - ٣٠
أنديزين	٧٠ - ٥٠	٣٠ - ٥٠
لابرادوريت	٥٠ - ٣٠	٥٠ - ٧٠
بيتونيت	٣٠ - ١٠	٧٠ - ٩٠
أنورثيت	١٠ - ٠	٩٠ - ١٠٠

يأتي اسم الألبيت من الكلمة الإغريقية *albus* والتي تعني لون أبيض نقي. بينما تأتي كلمة أوليغوكليز من كلمة إغريقية تعني قليل وذو كسر Little and fracture، نسبةً إلى إنقسام المعدن. وتأتي كلمة لابرادوريت من منطقة لابرادور Labrador حيث يتواجد المعدن ضمن مكونات صخور الأنورثوزيت. وتأتي كلمة بيتونيت من الاسم السابق لولاية أوتاوا بكندا Ottawa, Canada. أما الأنورثيت فقد تم تسميته بواسطة العالم روز Rose عام ١٨٢٣م نسبةً إلى كلمة إغريقية تعني مائل Oblique، يشير الاسم إلى تبلور المعدن بفصيطة الميول الثلاثة.

الصفات البلورية

تتبلور معادن البلاجيوكليز بفصيلة الميول الثلاثة. تبلغ أبعاد خلية الوحدة بالأبيت: أ = ٨,١٣٧، ب = ١٢,٧٨٥، ج = ٧,١٥٨ أنجستروم. وتبلغ الزوايا بين المحورية ألفا $(\alpha) = 94,26^\circ$ وبيتا $(\beta) = 116,60^\circ$ وجاما $(\gamma) = 87,071^\circ$ ، ومقدار ما تمتلكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 4$. أما أبعاد خلية الوحدة بالأنورثيت، فهي: أ = ٨,١٧٧، ب = ١٢,٨٧٧، ج = ١٤,١٦٩ أنجستروم. وتبلغ الزوايا بين المحورية ألفا $(\alpha) = 93,17^\circ$ وبيتا $(\beta) = 115,85^\circ$ وجاما $(\gamma) = 92,22^\circ$ ، وما تحتويه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 8$. يشيع وجود النطاقية بمعادن البلاجيوكليز (شكل ٧-٢٣) وخصوصاً بالصخور البركانية والصخور الجوفية المتكونة على أعماق ضحلة. هناك



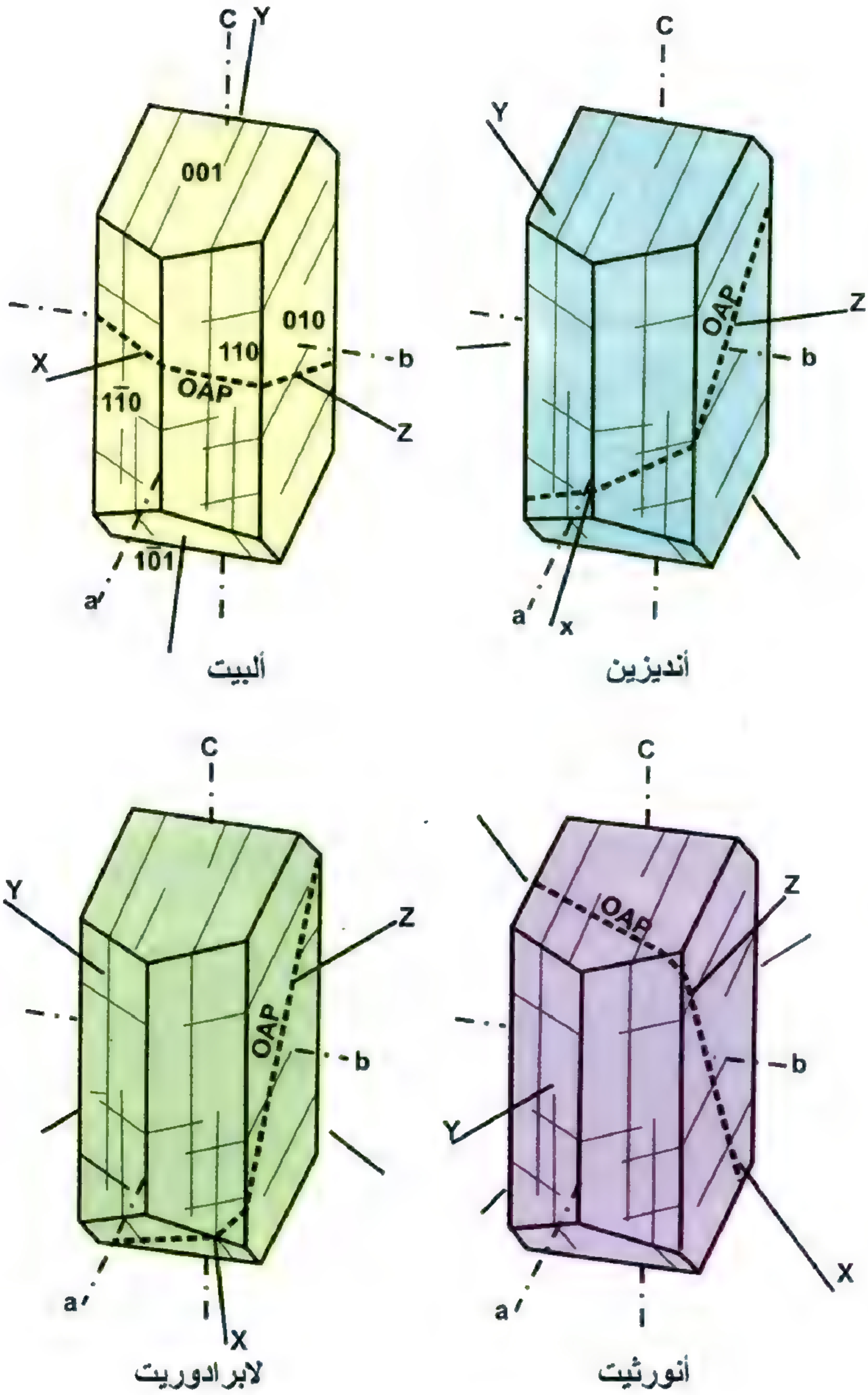
شكل ٧-٢٣: النطاقية بالبلاجيوكليز

نوعان من النطاقية بالبلاجيوكليز: نطاقية عادية Normal zoning حيث تزداد نسبة الكالسيوم في لب المعدن، بينما تزداد نسبة الصوديوم بحافة المعدن. وأما عكس ذلك فيسمى بالنطاقية العكسية Reverse zoning. يكثر بالمعدن التوأمية من نوع الأبيت وكارلسباد ومانباخ وبافنيو. يتواجد البلاجيوكليز غالباً

كبلورات كاملة الأوجه أو ناقصة الأوجه ويكون بلورات عمدانية موازية لأطول محور بلوري "c" (شكل ٧-٢٤)

كيميائية المعدن

رغم أن البلاجيوكليز يتكون من سلسلة تمتد من تركيب غني بالصوديوم $(NaAlSi_3O_8)$ إلى تركيب غني بالكالسيوم $(CaAlSi_3O_8)$ ، إلا أنه يحتوى على نسبة من جزيئات الأرتوكليز $(KAlSi_3O_8)$ ، تختلف هذه النسبة من ٤-٥ نسبة جزيئية في التراكيب الغنية بالكالسيوم (An_{100}) وترتفع بالتدريج إلى ١٠ نسبة

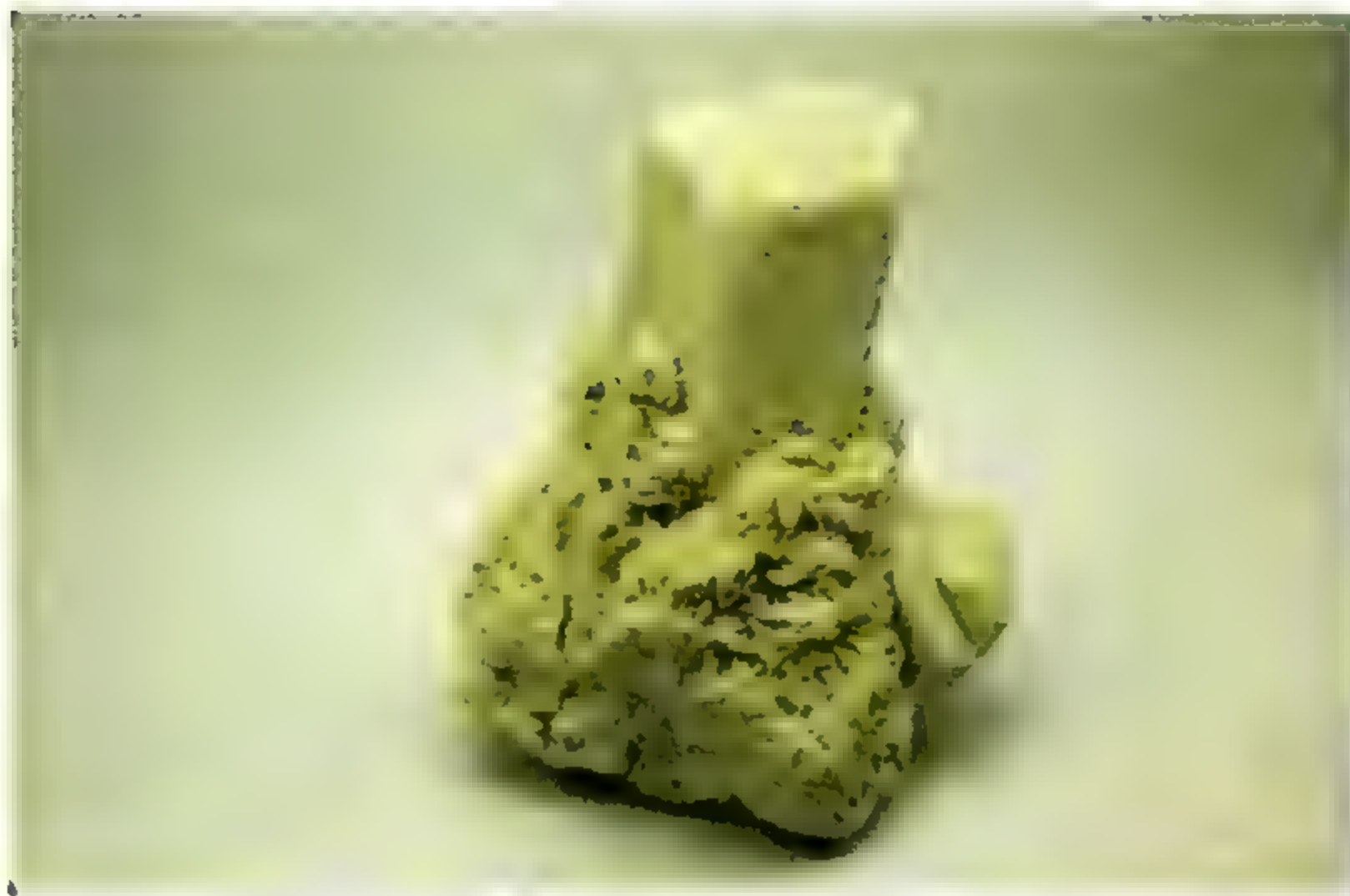


شكل ٧-٢٤ : العلاقة بين المحاور البلورية (a, b, c) ومحاور مجسم معامل الانكسار (X, Y, Z) في بلورات بعض معادن البلاجيوكليس. OAP = المستوى المحوري البصري.

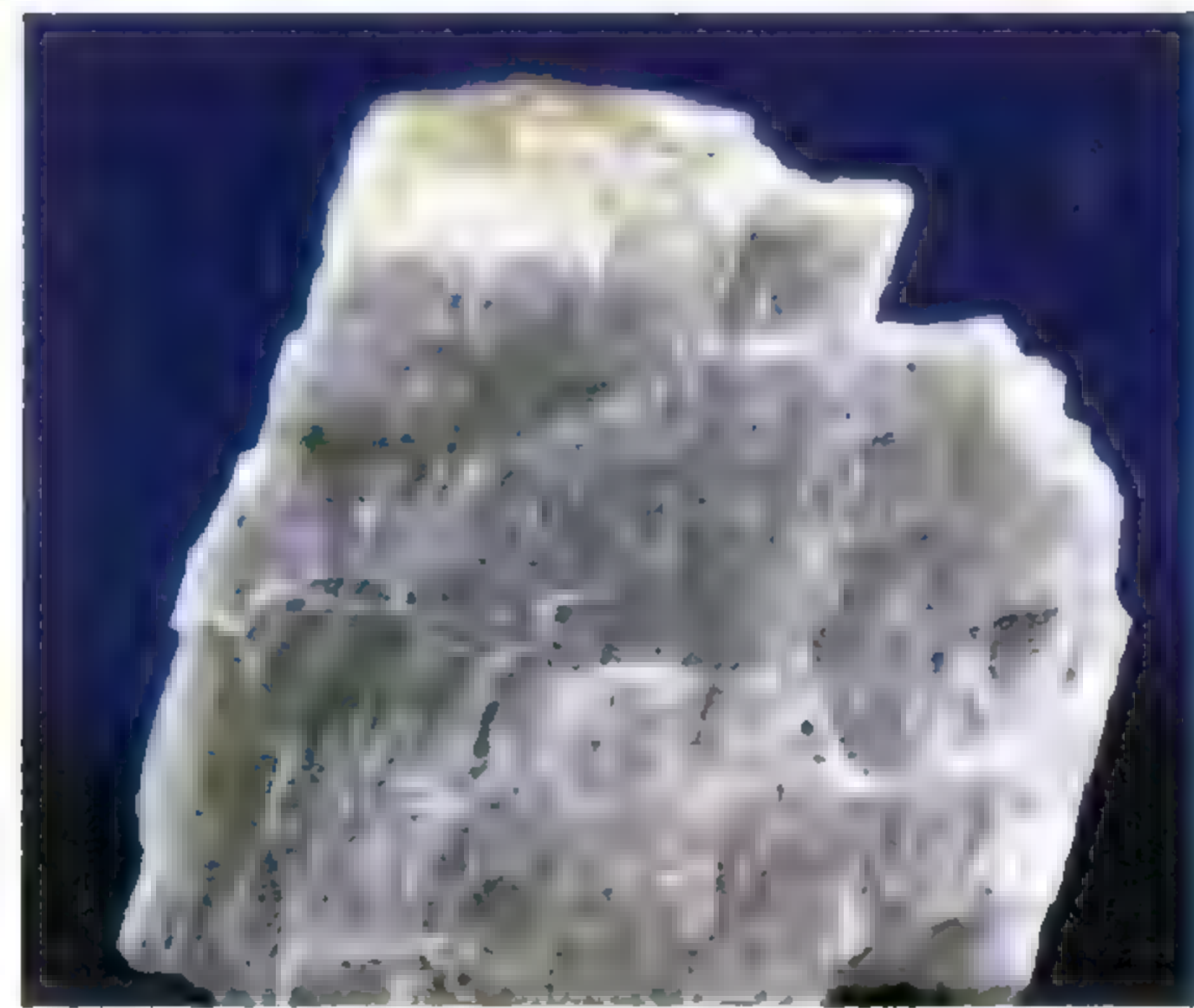
جزيئية (mole %) عند محتوى أنورثيتي يساوي ٥٠% (An₅₀). ومن العناصر الأخرى التي يمكن أن تتواجد بالبلاجيوكليز: التيتانيوم Ti والحديد الثلاثي Fe³⁺ والحديد الثنائي Fe²⁺ والمنجنيز والماغنسيوم والباريوم والسترنشيوم (جدول ٧-٢).

الصفات الفيزيائية والبصرية

تظهر معادن البلاجيوكليز عادةً بيضاء أو رمادية، وفي بعض الأحوال قد تكون ذات لون أخضر مزرق ومائل للإصفرار أو الإحمرار (شكل ٧-٢٥). البريق زجاجي أو لؤلؤي. المخدش أبيض. شفاف إلى نصف شفاف. الصلادة = ٦. الإنقسام كامل موازي للمستوى {001} (إنقسام قاعدي) وجيد على المستوى {010} (مسطوح جانبي). يتقاطع هذان المستويان بزاوية ٩٣-٩٤°. هناك أيضاً إنقسام ضعيف على المستوى {110} (منشوري) ولكن يصعب رؤيته بالعين المجردة أو تحت الميكروسكوب. يتدرج الوزن النوعي من ٢,٦٢ إلى ٢,٧٦.



Albite Photo from MII, courtesy of the Smithsonian Institution



شكل ٧-٢٥: (أ) بلورة بيضاء إلى رمادية اللون للألبيت. (ب) ألبيت أخضر ومائل للإصفرار (معهد سميثسونيان Smithsonian).

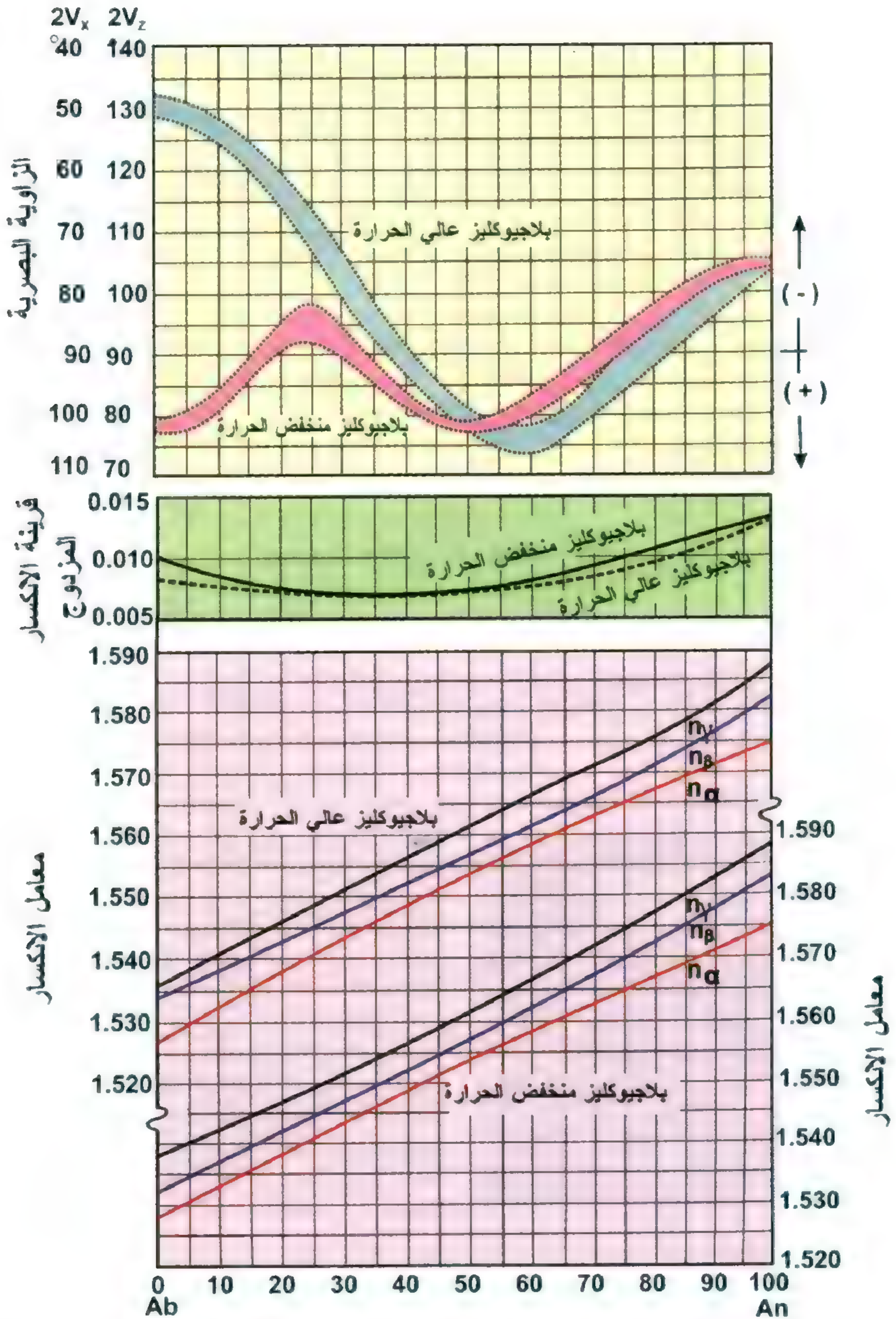
تحت الميكروسكوب، يبدو البلاجيوكليز عديم اللون وأحياناً يكون عليه غمامة Cloudy نتيجة تعرضه الجزئي لعمليات التجوية والتي تحوله إلى معدن سيريسيت Sericite وهو معدن طيني. كما يمكن أن يُظهر المعدن

ألوان محمرة، بنية أو رمادي عند إحتوائه على مكثفات لأكاسيد الحديد والتيتانيوم. التضاريس منخفضة سالبة أو موجبة. يختلف التوجيه البصري للمعدن حسب تركيبه الكيميائي. الإنطفاء مائل. تزداد معاملات الانكسار بزيادة المحتوى الكلسي (شكل ٧-٢٦) ويمكن استخدام هذه الخاصية لمعرفة التركيب الكيميائي لمعادن البلاجيوكليز. المعدن ثنائى المحور موجب أو سالب. معاملات الانكسار: ألفا $\alpha = 1.527 - 1.577$ وبيتا $\beta = 1.531 - 1.585$ وجاما $\gamma = 1.534 - 1.590$. تتغير قرينة الانكسار المزدوج من 0.007 إلى 0.013 . الزاوية البصرية $(2V) = 45 - 120^\circ$ (أنورثيت) أو $75 - 102^\circ$ (ألبيت).

قياس تركيب البلاجيوكليز

Determining the Composition of Plagioclase

من الصعوبة التعرف على تركيب البلاجيوكليز من العينة اليدوية ولكن يمكننا فقط التخمين بتركيبه حسب ظروف تكون الصخر الذى يحتويه من حرارة وضغط. فمثلاً فى الصخور المتحولة عالية الدرجة، نتوقع وجود التركيب الكلسي للبلاجيوكليز، بينما فى الصخور المتحولة ذات التحول المنخفض، نتوقع وجود التركيب الصودي. هناك العديد من الوسائل التى تمكننا من معرفة تركيب البلاجيوكليز، ومنها قياس الوزن النوعي للمعدن بوضع حبيبات مفتتة منه فى زيوت غمس Immersion oils مختلفة الكثافة وبالمقارنة يمكن التعرف على تركيب البلاجيوكليز حيث إن لكل تركيب من تركيباته مقدار وزن نوعي معلوم (الوزن النوعي للألبيت = 2.62 ، بينما الوزن النوعي للأنورثيت = 2.74 ، وباقى معادن السلسلة تقع بينهما). ولكن الطريقة الأدق لمعرفة تركيب البلاجيوكليز هى دراسة الصفات البصرية بالقطاعات الميكروسكوبية والتى يمكن شرحها فى الخطوات التالية:



شكل ٧-٢٦: تغير معاملات الانكسار وقرينة الانكسار المزدوج والزاوية البصرية بتغير المحتوى الأثوريثي بسلسلة الألبيت-الأثوريث لكل من البلاجيوكليز العالي والمنخفض الحرارة. (سميث ١٩٥٨، بوري وآخرون ١٩٦٧، Burri et al.).

أ- حاول إيجاد بلورة توأمية للبلاجيوكليز يكون فيها مستوى التوأمة {010} عمودي على مستوى مسرح الميكروسكوب. ويمكن الحصول على بلورة موجهة بشكل صحيح بتحريك أنبوبة الميكروسكوب إلى أعلى وأسفل، فلو أن مستوى التوأمة عمودي، فإنه سيظل ثابت مع تحريك أنبوبة الميكروسكوب ولو أنه مائل، فإنه سيتحرك من جانب إلى آخر. بعد الحصول على البلورة المناسبة، حرك مستوى التوأمة في اتجاه شمال-جنوب. لو أن مستوى التوأمة عمودي، فإن جزئي التوأمة سيظهر قرينة انكسار مزدوج متساوية، أي لن يوجد إختلاف كبير بينهما (شكل ٧-٢٧ ب).

ج- حرك مسرح الميكروسكوب عكس اتجاه عقارب الساعة حتى تحصل على إنطفاء لأحد جزئي التوأم، وسجل زاوية الدوران هذه (شكل ٧-٢٧ أ).

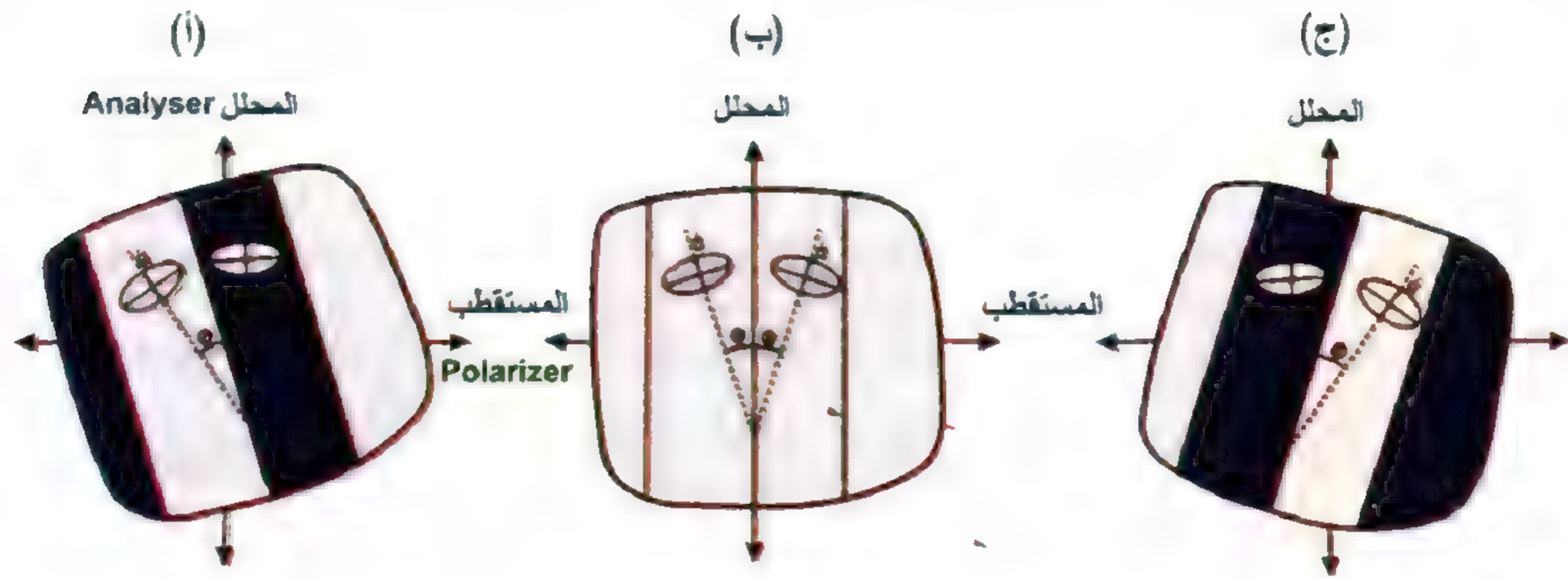
د- حرك مستوى التوأمة مرة أخرى إلى اتجاه شمال-جنوب.

هـ- حرك مسرح الميكروسكوب في اتجاه عقارب الساعة حتى تحصل على إنطفاء لأحد جزئي التوأمة، ثم قس مقدار زاوية الدوران (شكل ٧-٢٧ ج).

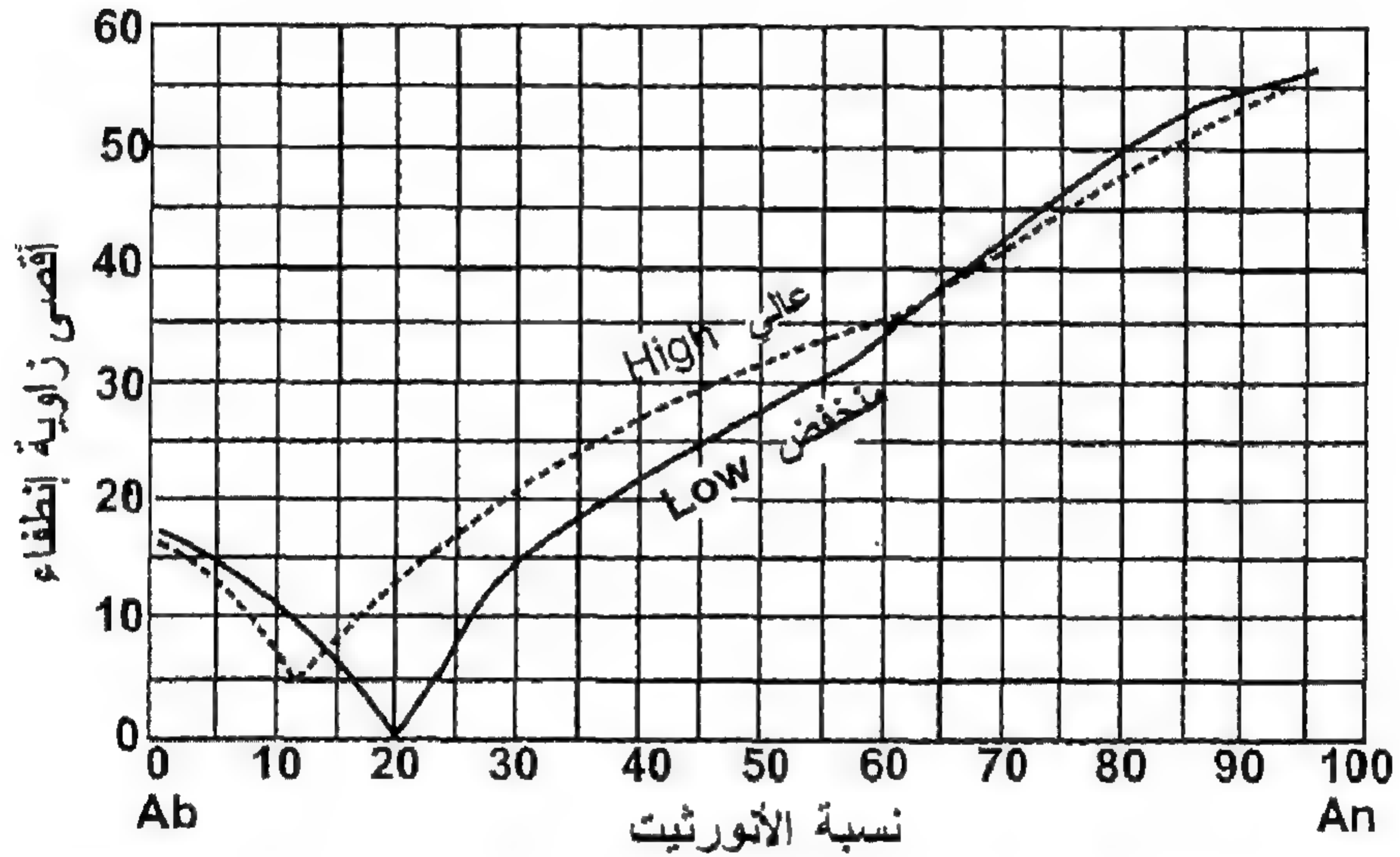
و- لو أن مقدار زاويتي الدوران التي تم قياسهما متقاربتين ولا يتعدى الفرق بينهما أربع درجات، إحسب متوسطهما.

ز- كرر الخطوات (ج- و) على مجموعة من البلورات الأخرى وقس أكبر قيمة لزاوية الإنطفاء.

ح- إستخدم المخطط المبين بالشكل رقم (٧-٢٨) لقياس تركيب البلاجيوكليز بمعلومية أكبر قيمة لزاوية الإنطفاء. في هذا الشكل، يوجد منحنيين منفصلين، أحدهما يمثل البلاجيوكليز العالي (بالصخور البركانية) والآخر يمثل البلاجيوكليز المنخفض (بالصخور الجوفية). إستخدم معلوماتك عن الوضع التكتوني للصخر المحتوي على البلاجيوكليز المراد معرفة تركيبه، وحدد أي من هذه المنحنيات يمكن استخدامه.



شكل ٧-٢٧: مخطط يوضح كيفية معرفة تركيب البلاجيوكليز بدراسة الصفات البصرية بالقطاعات الميكروسكوبية.



شكل ٧-٢٨: مخطط يوضح كيفية حساب المحتوى الأنورثيني للبلاجيوكليز بمعلومية قيمة زاوية الإنطفاء (عن توبي وكروول ١٩٧٥ Tobi and Kroll).

التواجدات والصحبة المعدنية

تتواجد مجموعة معادن البلاجيوكليز في معظم البيئات الجيولوجية، فتوجد بالصخور النارية والمتحولة والرسوبية، وكذلك بصخور النيازك وعروق المحاليل الحرمائية. يوجد الألبيت بالصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والرايوليت والجرانيت البيجماتيتي والجرانوديوريت والدايسيت وأنواع أخرى. يوجد الأوليجوكليز بالصخور الجرانيتية. ويوجد الأنديزين بالصخور النارية

المتوسطة مثل الدايوريت والأنديزيت. ويوجد اللابرادوريت بالصخور النارية المافية مثل الجابرو والأنورثوزيت والبازلت. ويكثر وجود الأنورثيت بالصخور المتحولة عالية الدرجة. ويعتبر البيتونيت من أقل معادن البلاجيوكليز إنتشاراً ويوجد بالصخور المافية وأيضاً بالصخور المتحولة.

الاستخدامات

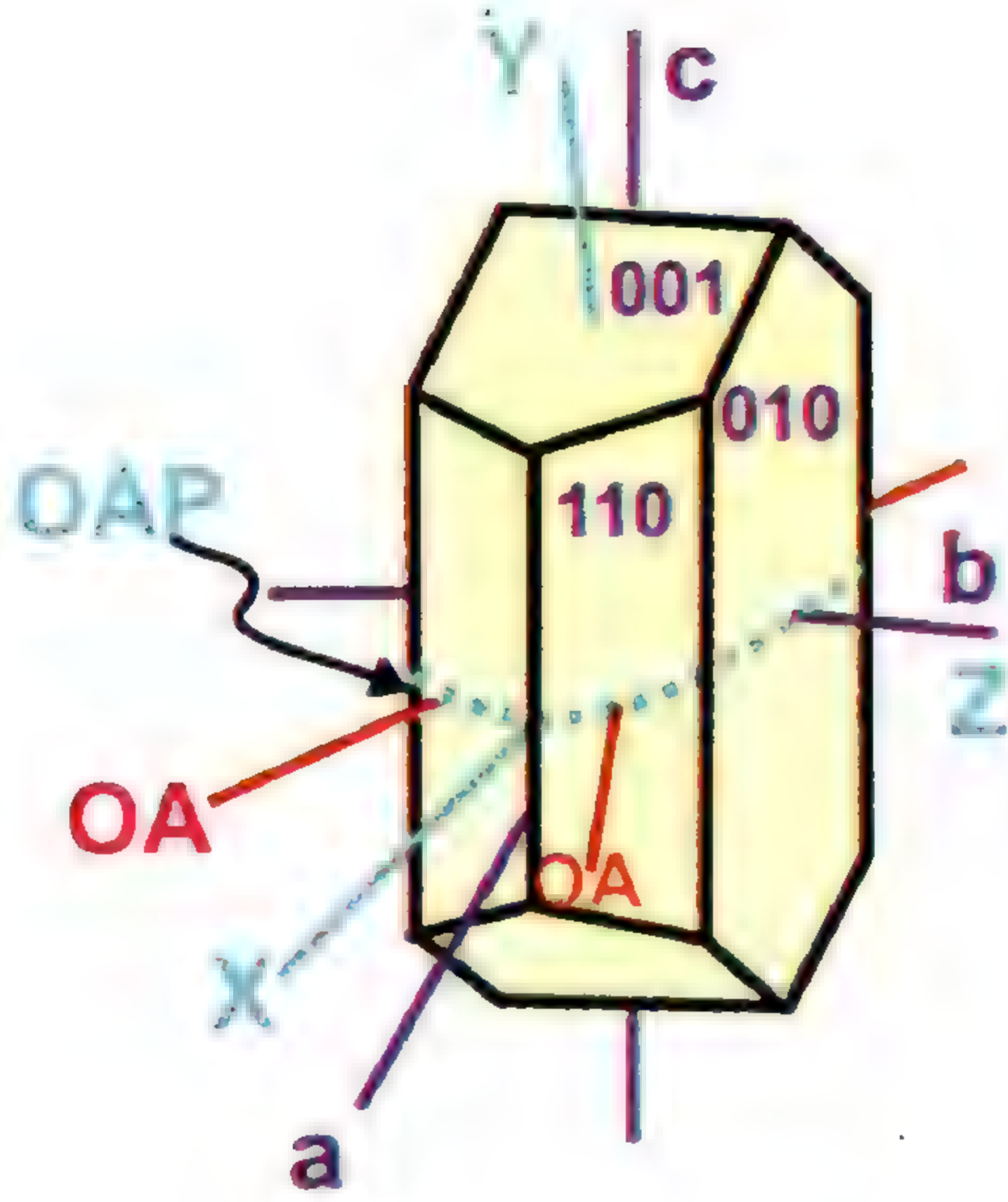
تستعمل بعض أنواع معادن البلاجيوكليز كأحجار كريمة، أما اللابرادوريت والذي يتمتع بخاصية عرض الألوان، فإنه يستخدم في صناعة أحجار الزينة. ويستعمل الألبيت في صناعة الخزف. كما تستعمل الحبيبات الكبيرة منه في عمل الخرسانة وأعمال السفلة. ويمكن استخدام بكرة البلاجيوكليز في صناعة الدهانات والبلاستيك والمطاط. كما يستعمل البلاجيوكليز الغني بالصوديوم في صناعة الزجاج والسيراميك. وفي بعض الأحيان عندما يتواجد البلاجيوكليز كجسم ناري كبير متداخل (أنورثوزيت) فيمكن استخدامه كمصدر للألمنيوم.

أرثوكليز Orthoclase



يأتى اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *Orthos* وتعنى زاوية قائمة وكلمة *Klasis* وتعنى ينكسر، ويشير هذا الاسم إلى الانفصام العمودي للأرثوكليز. يعتبر الأرثوكليز أحد متعددات الشكل للفلسبار البوتاسي والذي يضم أيضاً الميكروكلين والسانيدين. يتبلور الأرثوكليز عند درجة حرارة متوسطة (أقل من السانيدين وأعلى من الميكروكلين). فعند درجة حرارة حوالى ٤٠٠°م أو أقل، يكون الميكروكلين هو الأكثر إستقراراً. وعند درجات حرارة تتراوح بين ٥٠٠ إلى ٩٠٠°م، يصبح الأرثوكليز هو الأكثر إستقراراً، بينما يكون السانيدين هو الصنف المستقر عند درجة حرارة تزيد عن ٩٠٠°م.

الصفات البلورية



شكل ٧-٢٩: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الأرثوكليز، كما يظهر في الشكل أيضاً إتجاه المحورين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP.

يتبلور الأرثوكليز في فصيلة الميل الواحد، تماماً مثل السانيدين ولكن يختلف في توزيع ذرات الألومنيوم والسيليكون حيث يكونا مرتبين جزئياً وذلك لقلّة درجة حرارة تبلوره عن السانيدين. يتواجد الأرثوكليز على هيئة بلورات منشورية وعمدانية (شكل ٧-٢٩). يكثر به التوأمية الإخترافية والمتعددة. تبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 8.56$ أنجستروم، $b = 12.99$ أنجستروم، $c = 7.19$ أنجستروم. مجموع ما تملكه خلية الوحدة من ذرات $(Z) = 4$ ، مجموعة النقطة $2/m$ والمجموعة الفراغية $C2/m$.

كيمائية المعدن

يتكون الأرثوكليز من ثلاث

أكاسيد: أكسيد البوتاسيوم K_2O (حوالي ١٦,٩%) وأكسيد الألومنيوم Al_2O_3 (حوالي ١٨,٤%) وأكسيد السيليكون SiO_2 (حوالي ٦٤,٧%). يحتوى معظم الأرثوكليز على نسبة من الصوديوم والتي تحل محل البوتاسيوم، حيث أن هناك سلسلة محلول صلب كاملة بين الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) والأرثوكليز. وفي بعض الأحيان يحتوى الأرثوكليز على نسبة من الكالسيوم والذي يحل محل الصوديوم ($Ca, Al \rightarrow Na, Si$).

الصفات الفيزيائية والبصرية

يتغير اللون مابين الأبيض والأصفر إلى درجات من اللون الأحمر والبرتقالي والبني. البريق زجاجي إلى مطفى فى حالة البلورات المجواه. المخدش أبيض. تكون البلورات عادة معتمة ومن الممكن أن تكون أيضاً نصف شفافة ونادراً ما تكون شفافة. الصلادة = ٦ والإنقسام فى إتجاهين مكوناً منشور قائم الزاوية، أحدهما كامل بالمستوى {001} وجيد بالمستوى {010}. توجد أحياناً صعوبة فى التعرف على مستويي الإنقسام بالقطاعات الميكروسكوبية وذلك بسبب التضاريس المنخفضة للأرثوكليز وطمس معالمه من جراء عمليات التجوية. المكسر محاري أو غير مستوي. الوزن النوعى = ٢,٥٣ - ٢,٥٦. قرينة الانكسار المزدوج منخفضة وتشبه الكوارتز. يمكن تمييزه عن السانيدين بقيمة الزاوية البصرية (2V) وعن الميكروكلين بالتوأمية. المعدن ثنائى المحور سالب، وتبلغ معاملات الانكسار ألفا (α) = ١,٥٢١ وبيتا (β) = ١,٥٢٥ وجاما (γ) = ١,٥٢٨ وقرينة الانكسار المزدوج (δ) = ٠,٠٠٧ والزاوية البصرية (2V) = ٦٠° - ٦٥°.

التواجدات والصحة المعدنية

الأرثوكليز من المعادن الواسعة الإنتشار، فيوجد بالصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والسيانيت والرايوليت وبعروق البيجماتيت. كما يوجد بالصخور الرسوبية مثل الأركوز وفى بعض الأحيان بالحجر الرملى والكونجلوميرات. كما يوجد بالصخور المتحولة مثل الشيست والنيس. ومن أهم المعادن المصاحبة للأرثوكليز: الكوارتز والميكا والألبيت. ينتشر الأرثوكليز بأماكن عديدة على مستوى العالم، ولكن هناك بعض الأماكن المتميزة، ومنها: مدغشقر حيث توجد البلورات الصفراء الشفافة من الأرثوكليز بالبيجماتيت، منطقة كارلسباد بتشيكوسلوفاكيا والمشهورة ببلورات توأمية كارلسباد وتأتى البلورات التوأمية من النوع بافينو من منطقة بافينو بإيطاليا. كما توجد بلورات كاملة وكبيرة بمنطقة ديسينتيس Disentis

بسويسرا. ومن البلاد الأخرى المتواجد بها بلورات مميزة للأرثوكليز: روسيا وتنزانيا والولايات المتحدة الأمريكية والنمسا وإنجلترا.

الاستخدامات

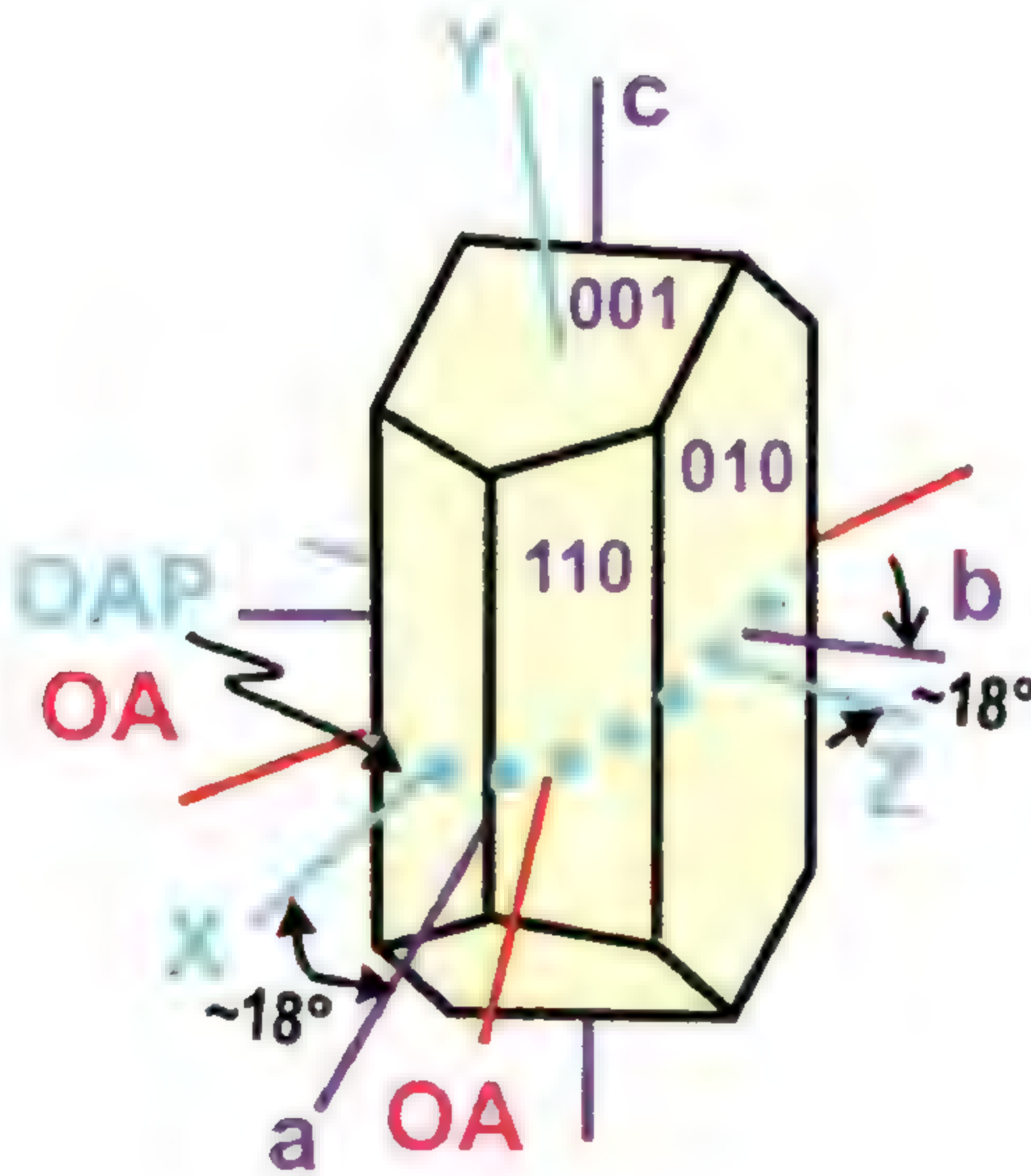
يعتبر الأرثوكليز من المعادن الهامة في صناعة الزجاج والسيراميك. وتستعمل البلورات التي يكثر بها التوأمية كأحجار كريمة.

الميكروكلين Microcline



يرجع اسم المعدن إلى الكلمة الإغريقية *mikro* وتعنى بسيط وكلمة *kleinen* وتعنى ينحرف، ويشير الاسم إلى الانحراف البسيط لانقسام المعدن عن الزاوية 90° .

الصفات البلورية



يتبلور المعدن بفصيلة الميول الثلاثة، وتبلغ أبعاد خلية الوحدة: $a = 8,56$ ، $b = 12,97$ ، $c = 7,21$ أنجستروم. تبلغ الزاوية بين المحورية ألفا $(\alpha) = 89,07^\circ$ وبيتا $(\beta) = 115,97^\circ$ وجاما $(\gamma) = 90,87^\circ$. عدد الذرات بخلية الوحدة $(Z) = 4$. توجد البلورات على هيئة صفائح أو كتلية عديمة الأوجه أو كاملة الأوجه (شكل ٣٠-٧). البلورات توأمية وتتقاطع مستويات التواءم بزاوية تقترب من 90° .

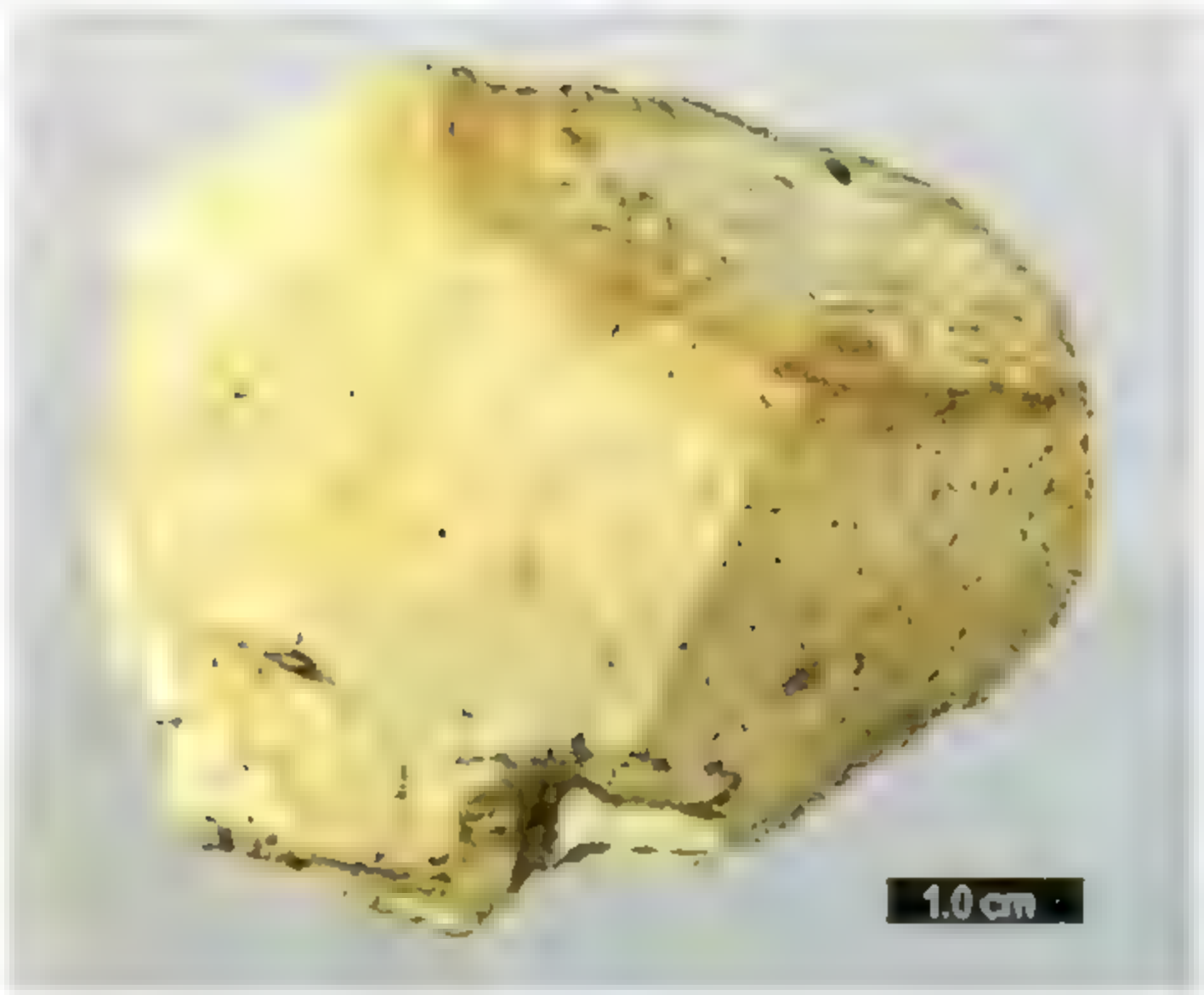
شكل ٣٠-٧: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن الميكروكلين، كما يظهر في الشكل أيضاً إتجاه المحورين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP .

كيمائية المعدن

يتشابه التركيب الكيميائي للميكروكلين مع معدن الأرثوكلين (جدول رقم ٧-٢).

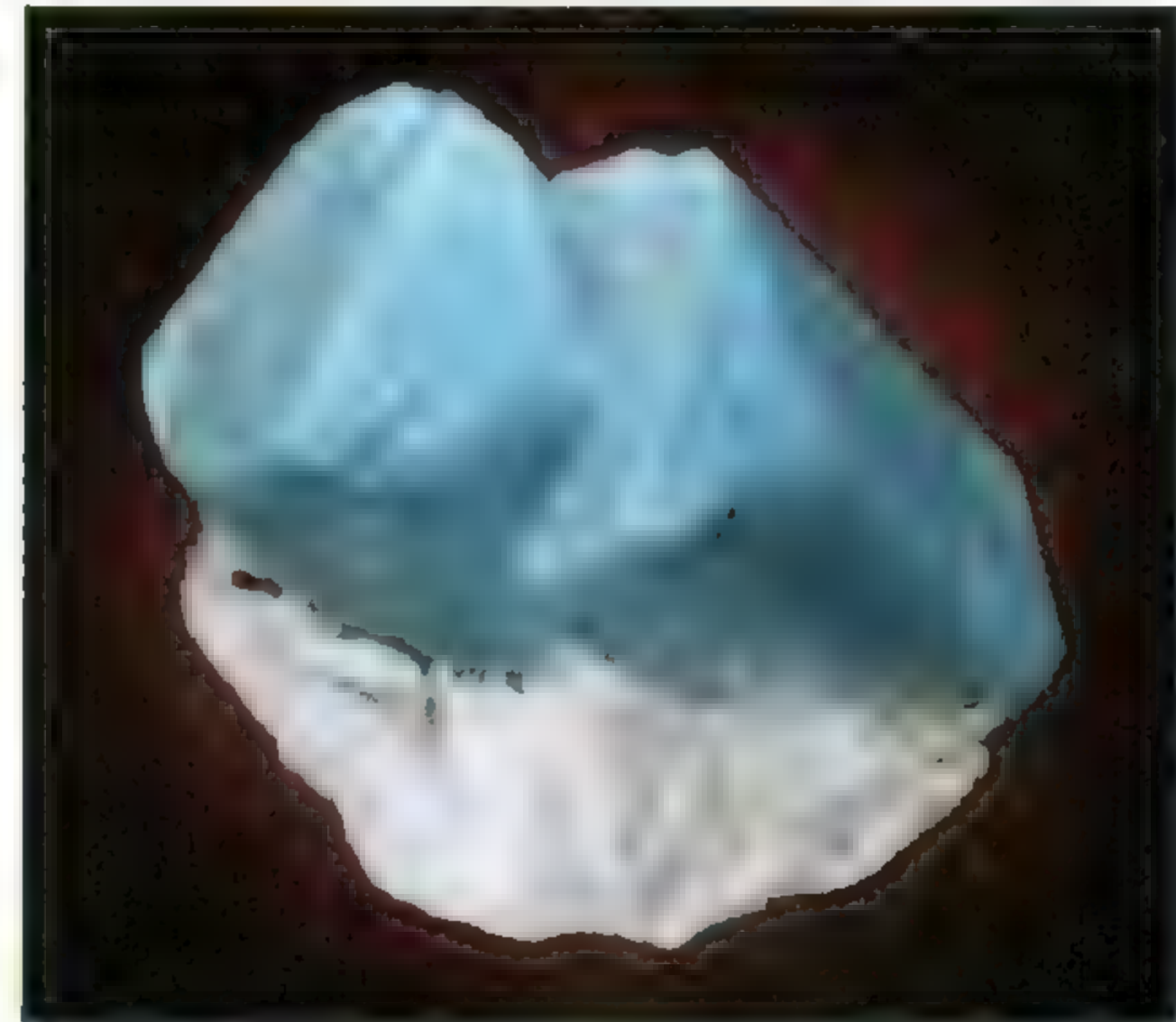
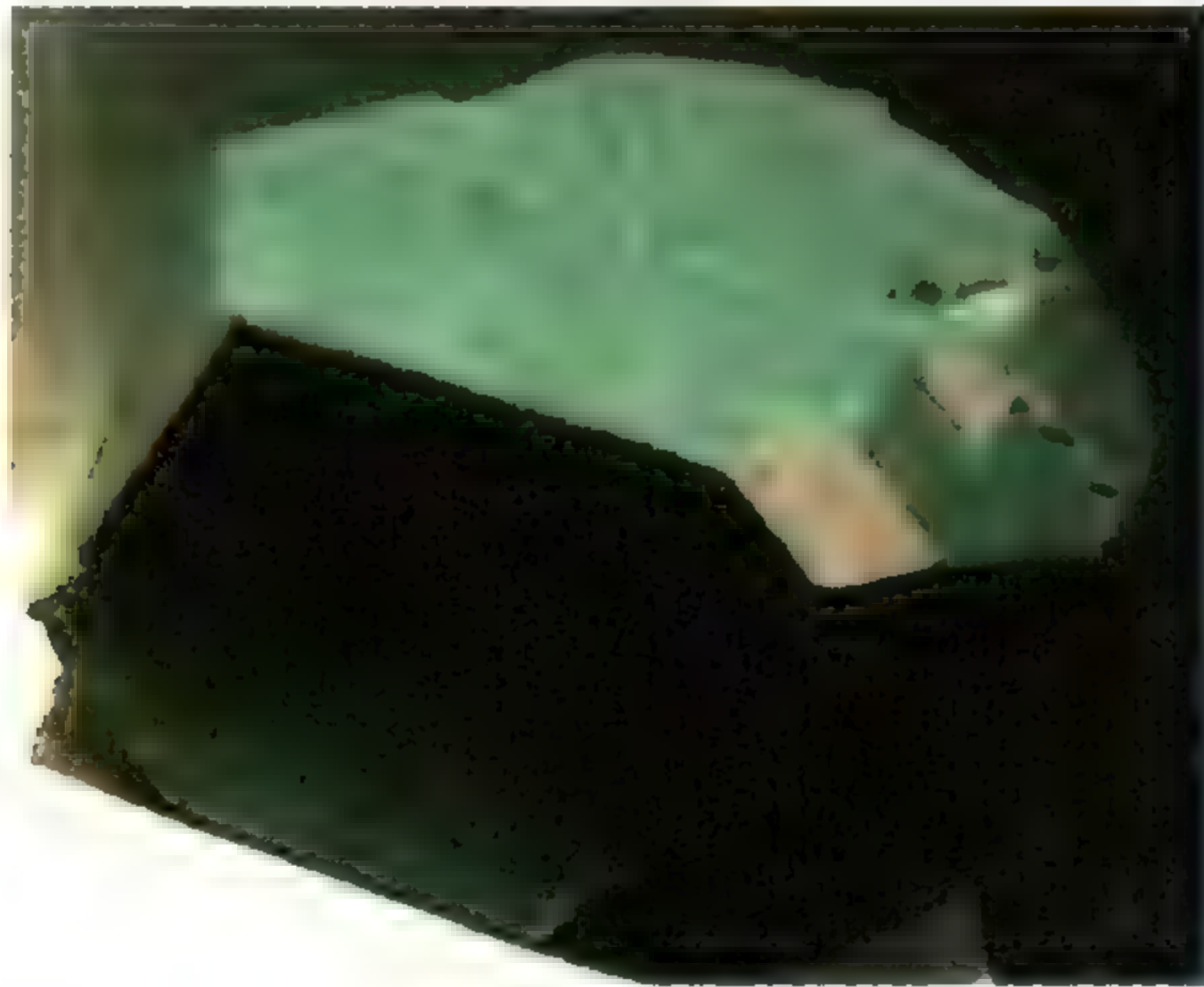
الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أبيض أو أصفر أو وردي أو أخضر وأحياناً يكون المعدن أزرق ويعرف في هذه الحالة باسم أمازونيت Amazonite (شكل ٧-٣١ ج). البريق (أ) (ب)



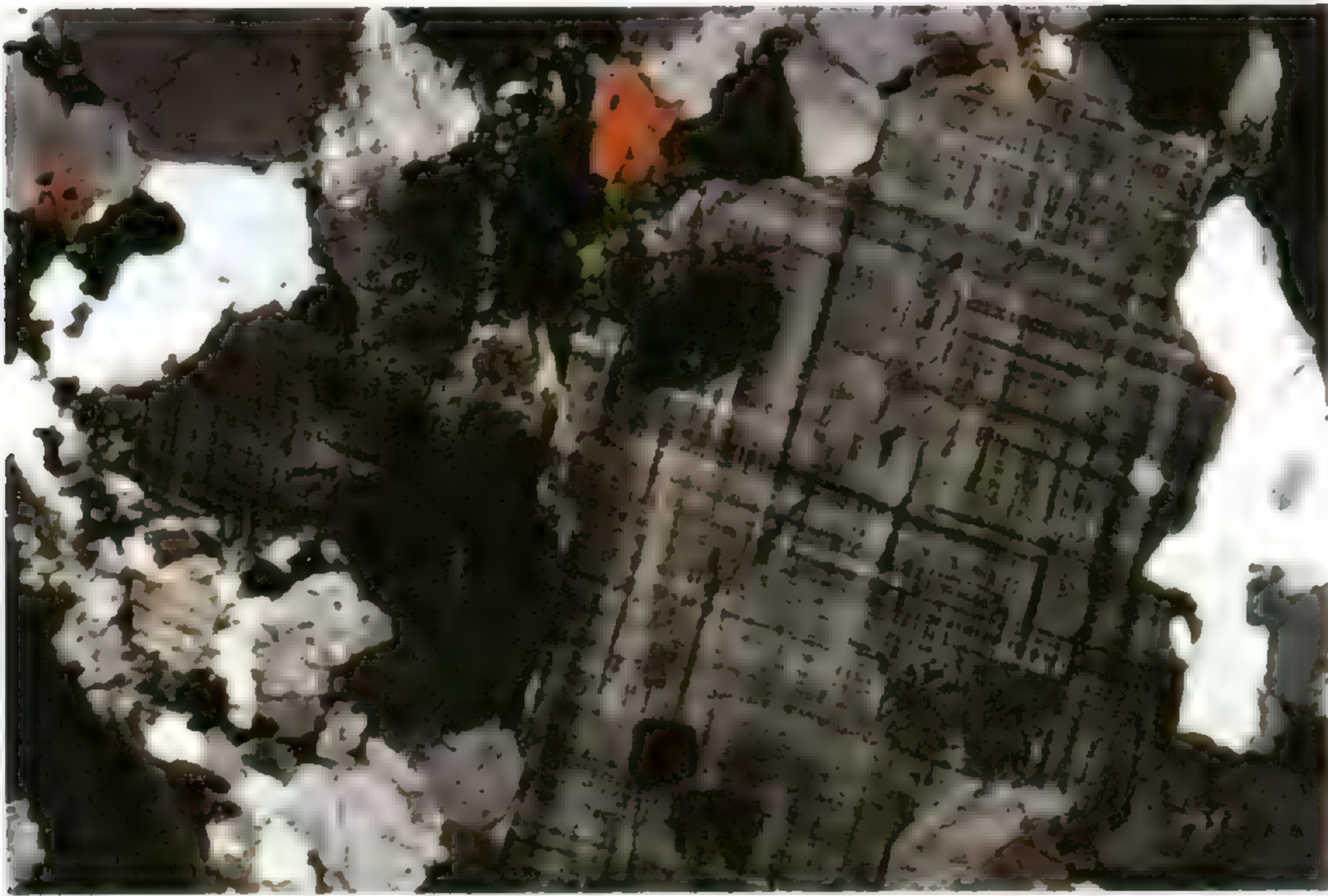
(د)

(ج)



شكل ٧-٣١: (أ) ميكسروكلين وردي اللون من منطقة بيدفورد، نيويورك (www.nysam.org/nymineral.cfm?number=hr75.0.960). (ب) ميكروكلين أصفر اللون من جبل موات Moat Mountain، نيو هامبشاير، الولايات المتحدة الأمريكية (webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2133). (ج) ميكروكلين أزرق اللون (أمازونيت) على البيت (أبيض اللون) (www.minclassics.com/lakegeorge.html). (د) ميكروكلين أخضر اللون من اليابان (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Minerals/...).

زجاجي إلى لؤلؤي وفي حالة البلورات المجواه يكون مطفي. المخدش أبيض. المعدن نصف شفاف أو نصف شفاف إلى معتم. الصلادة = ٦. الانفصام في اتجاهين، أحدهما كامل {001} والآخر جيد {010} وبينهما زاوية تقرب من 90° ($30^\circ - 89^\circ$). الوزن النوعي = ٢,٥. يصعب تحت الميكروسكوب تمييز مستويي الانفصام وذلك لانخفاض تضاريس المعدن. يمكن تمييز الميكروكلين عن الأرثوكليز تحت الميكروسكوب بالشكل الشبكي للتوأمية تحت المستقطب والمحلل والمكون من خطوط طولية وعرضية متقاطعة بزاوية قائمة تقريباً (شكل ٧-٣٢) والذي يسمى بشكل الترتان Tartan Pattern. المعدن ثنائي المحور سالب حيث: ألفا $(\alpha) = 1,018$ وبيتا $(\beta) = 1,024$ وجاما $(\gamma) = 1,028$. قرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,010$ والزاوية البصرية $(2V) = 77^\circ - 84^\circ$.



شكل ٧-٣٢: الشكل الشبكي المميز للتوأمية في الميكروكلين (منشوري نيكول).

التواجدات والصحبة المعدنية

كما هو الحال في الأرثوكليز، ينتشر الميكروكلين بالصخور النارية الفلسية مثل الجرانيت والسيانيت والريولايت والبيجماتيت، وكذلك بالصخور الرسوبية (الاركوز) والصخور المتحولة. ممكن أن يتكون الميكروكلين من السانيدين والأرثوكليز بسهولة مع عمليات التبريد. يعتبر الكوارتز والميكا من أهم المعادن المصاحبة. يكثر وجوده بأماكن عديدة في العالم، ومن أهمها:

منطقة كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية والنرويج ومدغشقر والبرازيل والهند وروسيا.

الاستخدامات

يستخدم في صناعة الزجاج والسيراميك. تستعمل البلورات التوأمية والزرقاء اللون (أمازونيت) كأحجار كريمة وأحجار زينة. وهناك استخدام غير شائع للميكروكلين كمادة صنفرة.

السانيدين Sanidine



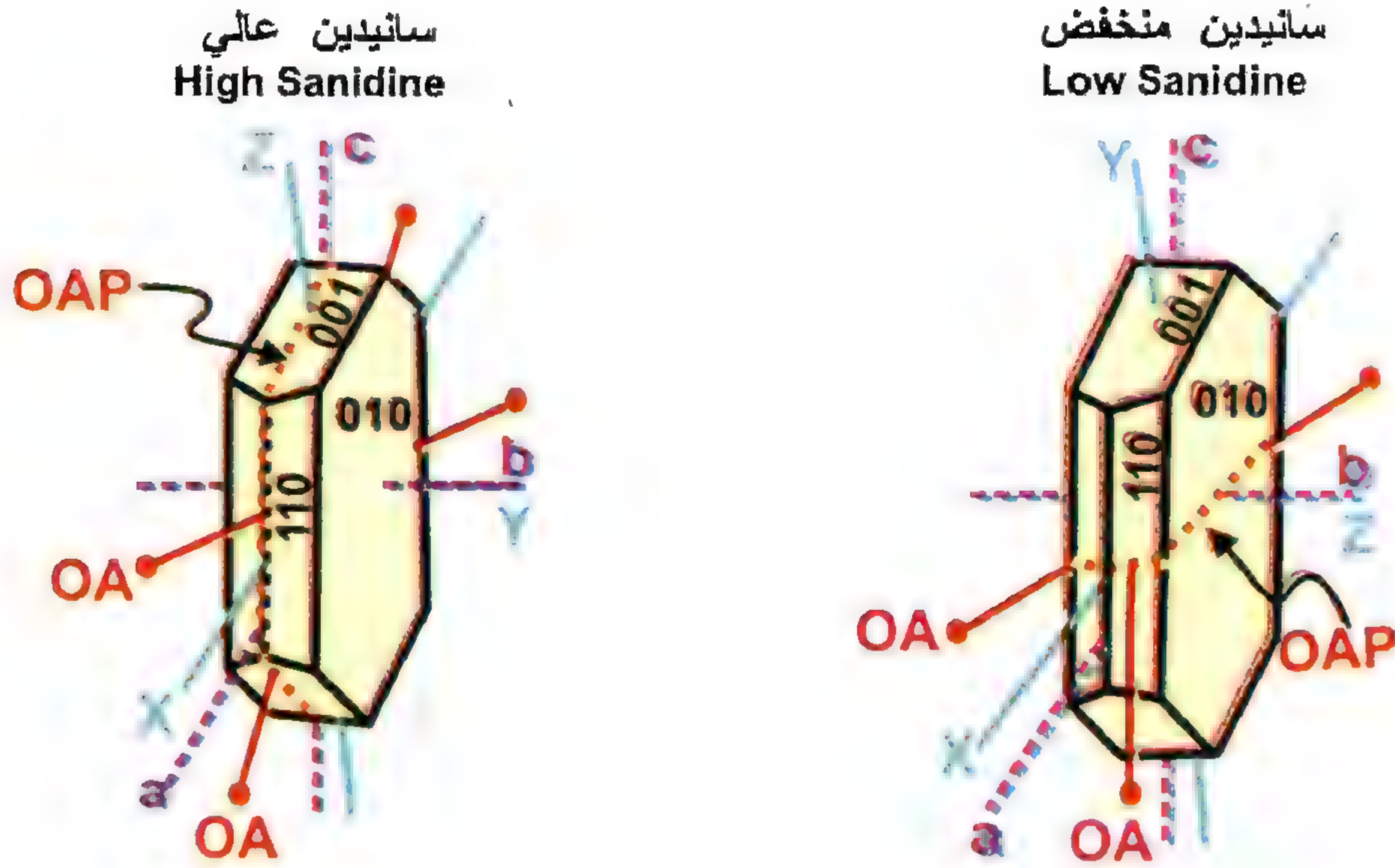
يأتى الاسم من الكلمة الإغريقية *sanis* وتعنى لوح وكلمة *idios* وتعنى مظهر، ويرجع ذلك إلى الهيئة المميزة للمعدن.

الصفات البلورية

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد، وتبلغ أطوال خلية الوحدة: أ= ٨,٥٦، ب= ١٣,٠٣، ج= ٧,١٧ أنجستروم وتبلغ الزاوية بين المحورية (β)= ١١٦,٥٨° ومجموع الذرات بخلية الوحدة (Z) = ٤. مجموعة النقطة 2/m والمجموعة الفراغية C2/m. توجد البلورات عادةً على هيئة منشورية (شكل ٧-٣٣)، وأحياناً صفائحية أو مستطيلة. يكثر بالمعدن التوأمية من النوع كارلسباد.

كيمائية المعدن

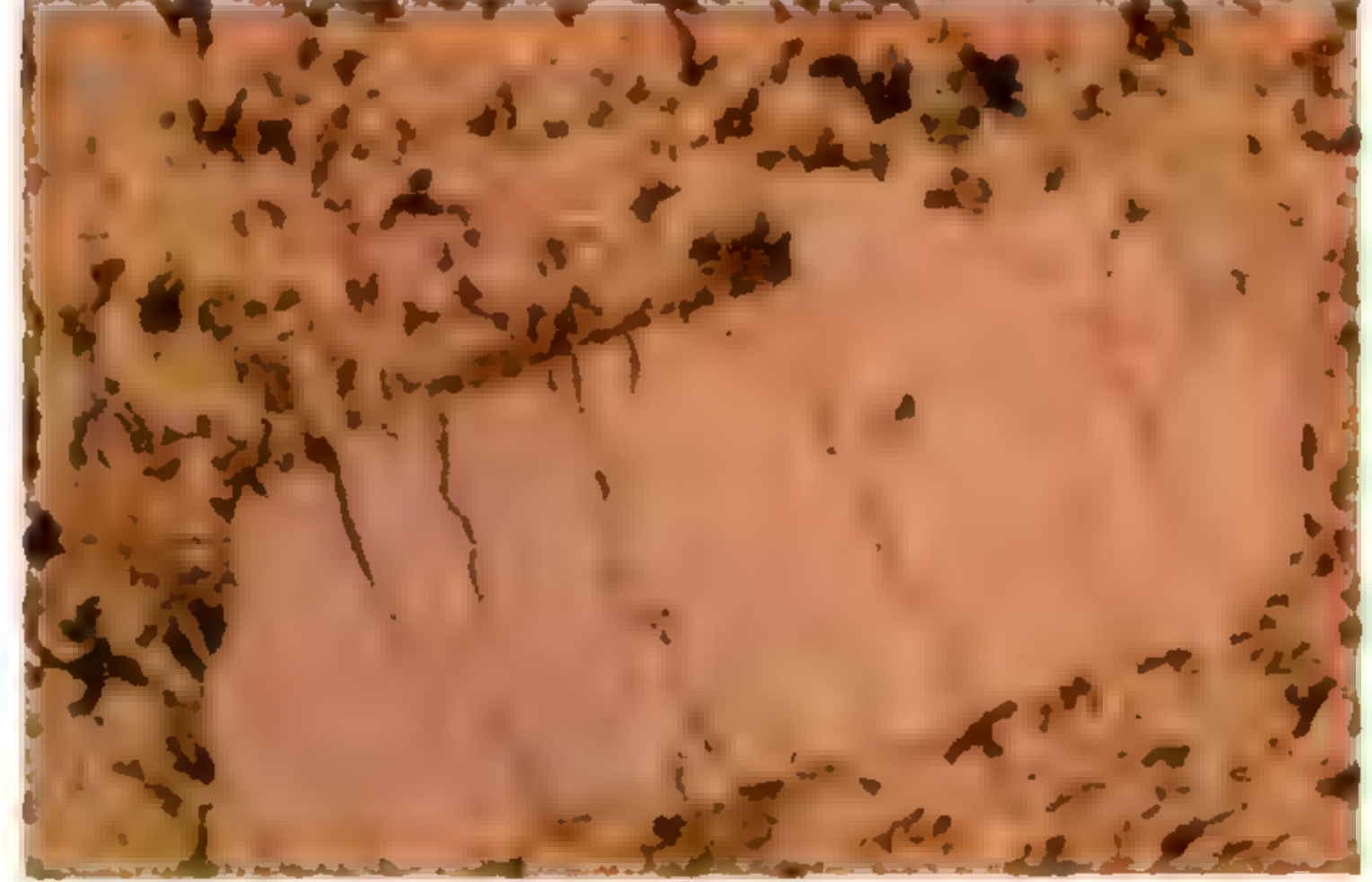
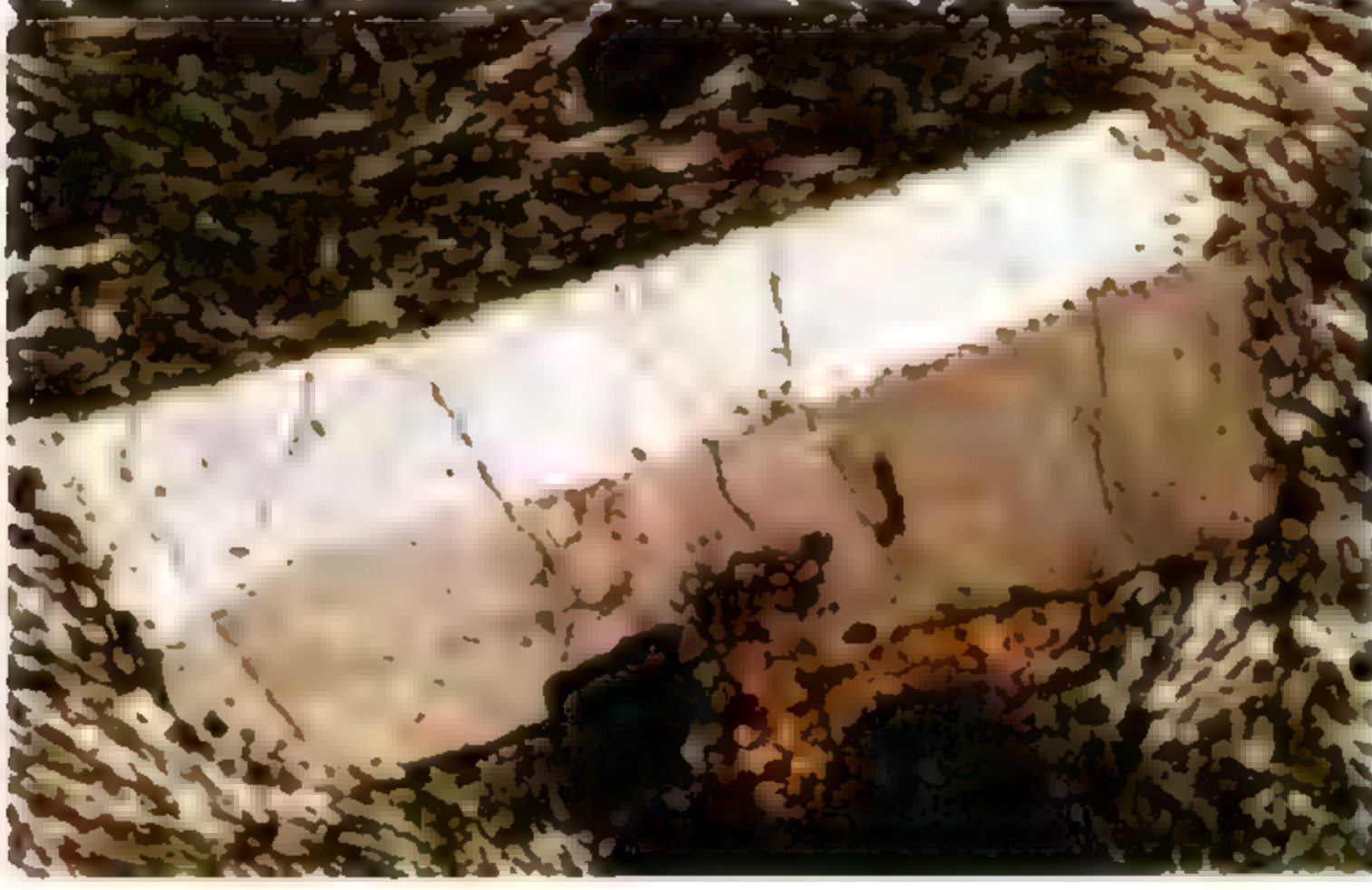
توجد سلسلة كاملة من محلول صلب بين الألبيت والسانيدين عند درجات الحرارة المرتفعة، حيث يحل الصوديوم محل البوتاسيوم. يوضح جدول رقم (٧-٢) مثال للتركيب الكيميائي للسانيدين.



شكل ٧-٣٣: العلاقة ما بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الانكسار X, Y, Z في بلورة لمعدن السانيدين، كما يظهر في الشكل أيضاً إتجاه المحوريين البصريين OA والمستوى المحوري البصري OAP .

الصفات الفيزيائية والبصرية

المعدن أبيض اللون أو أصفر أو درجات شاحبة من ألوان أخرى. البريق زجاجي أو مطفي في حالة البلورات المجواه. الميخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٦ والانقسام جيد في إتجاهين بينهما زاوية قدرها 90° تقريباً. المكسر محاري أو غير مستوى. الوزن النوعي = $2.53 - 2.56$. تحت الميكروسكوب، يشبه السانيدين معدن الأرثوكليز (شكل ٧-٣٤) ولكن يميزه الزاوية البصرية والتي تكون أقل في حالة السانيدين (جدول ٧-٤). المعدن ثنائي المحور سالب وتبلغ معاملات الانكسار ألفا $\alpha = 1.521$ وبيتا $\beta = 1.525$ وجاما $\gamma = 1.528$ وقرينة الانكسار المزدوج $\delta = 0.007$. وتختلف الزاوية البصرية حسب البنية البلورية، ففي حالة السانيدين المنخفض تساوى $0 - 40^\circ$ وفي حالة السانيدين العالي High sandine تساوى $0 - 47^\circ$.



شكل ٧-٣٤: صورة ميكروسكوبية للسانيدين. (أ) بالضوء المستقطب، (ب) بمنشوري نيكول.

جدول ٧-٤: مقارنة لأهم الصفات الفيزيائية والبصرية لمعادن الفلسبار البوتاسي.

السانيدين	الميكروكلين	الأرتوكليز	الصفة
٠ - ٤٠° ٠ - ٤٧°	٧٧ - ٨٤°	٦٠ - ٦٥°	الزاوية البصرية
٠,٠٠٧	٠,٠١٠	٠,٠٠٧	قرينة الانكسار المزدوج
نوع كارلسباد	متقاطعة أو شبكية	بسيطة -	التوأمية
٢,٥٦ - ٢,٥٣	٢,٥	٢,٥٦ - ٢,٥٣	الوزن النوعي
جيد في إتجاهين بينهما زاوية قائمة	في إتجاهين ومتقاطع بزاوية حوالي ٩٠,٦°	كامل ومتقاطع بزاوية قائمة	الانقسام
٦			الصلادة
تظهر			الأسطح المجواه تحت الميكروسكوب

التواجدات والصحية المعدنية

ينتشر السانيدين بالصخور النارية الفلسية والتي تعرضت لظروف تبريد سريعة. في حالة التبريد البطيء، فإنه يتحول إلى أرتوكليز أو ميكروكلين. يتواجد كبلورات كبيرة Phenocryst بصخور التراكيت والرايوليت كما يوجد

بصخور التحول التلامسي على الدرجة (سحنة السانيدينية). من المعادن المصاحبة: الكوارتز والميكا والبلاجيوكليز. من أهم أماكن تواجده: ألمانيا وإيطاليا ومنطقة كولورادو ونيومكسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية وروسيا وأماكن عديدة أخرى.

الاستخدامات

تستخدم الأنواع التوأمية منه كحجر كريم.

مجموعة معادن الفلسباتويد Feldspathoid Mineral Group

تتكون معادن الفلسباتويد بصفة أساسية من سيليكات ألومنيومية للبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وهي في ذلك تشبه مجموعة معادن الفلسبار ولكن يكمن الاختلاف الرئيسي في كمية السيليكا وبعض الخصائص الأخرى الموضحة في الجدول رقم (٧-٥).

جدول ٧-٥: الاختلافات الرئيسية بين مجموعة الفلسباتويد ومجموعة الفلسبار.

الصفة	مجموعة الفلسباتويد	مجموعة الفلسبار
التضاريس	تضاريس منخفضة	تضاريس منخفضة إلى متوسطة
الصفات البصرية	أحادي المحور (موجب أو سالب) وأحياناً أيزوتروبي	ثنائي المحور (موجب أو سالب)
تواجده مع الكوارتز	لا يوجد مع الكوارتز	يوجد غالباً مع الكوارتز
التوأمية	توأمية مركزية Concentric	توأمية البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي
أنسجة فصل المحاليل Exsolution Texture	لا يوجد	يوجد كالنسيج البيرثيتي والأنتبيرثيتي وغيرهما
الوزن النوعي	أقل من ٢,٥	أكثر من ٢,٥
نسبة الألومنيوم إلى السيليكون Si:Al	١:١	تقريباً ٣:١

تتضمن مجموعة الفلسباثويد العديد من المعادن، ومن أهمها وأكثرها شيوعاً:

اللوسيت	Leucite	KAlSi_2O_6	فصيلة الرباعي (حرارة عالية)/المكعب
نيفيلين/كالسلايت	Nepheline/Kalsilite	$(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4 / \text{K}_4\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_6$	السداسي
صوداليت	Sodalite	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$	المكعب
لازوريت	Lazurite	$(\text{Na}, \text{Ca})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})_2$	المكعب



شكل ٧-٣٥: تركيب معادن الفلسبار والفلسباثويد (بالنسبة الجزيئية Molecular percentage) بنظام النيفيلين-الكالسلايت-الكوارتز.

وتتميز معادن مجموعة الفلسباثويد بعدة صفات، منها:

- ١- جميع معادنها عبارة عن سيليكات الومنيومية مع واحد أو أكثر من الأيونات القلوية الكبيرة (مثل الصوديوم والبوتاسيوم) أو الأيونات القلوية الأرضية Alkaline-earth ions (مثل الكالسيوم والباريوم) (شكل ٧-٣٥).

٢- تتواجد جميعها في الصخور النارية الفقيرة في السيليكا، ولا تتواجد مع الكوارتز.

٣- تقع صفاتها الفيزيائية والكيميائية بين صفات الفلسبار والزيوليت.

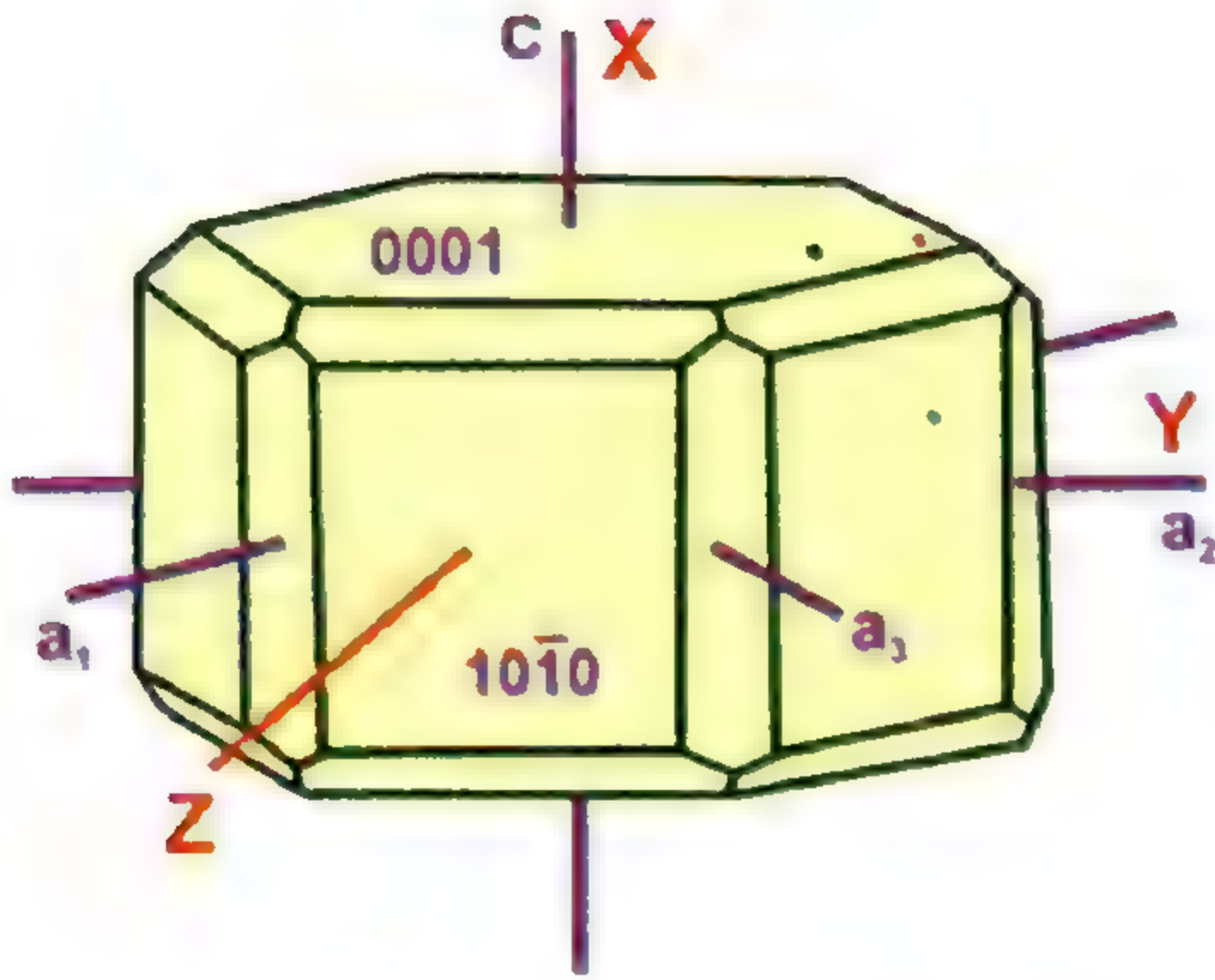
٤- تتكون بنيتها البلورية من هيكل متشابك يحتوى على الأيونات القلوية السابق الإشارة لها في فراغات هذه البنية.

النيفيلين Nepheline



يأتى اسم النيفيلين من الكلمة الإغريقية *nephele* والتي تعنى سحابه، مشيراً إلى السحابة الظاهرة عند غمسه في أحماض قوية.

البنية البلورية



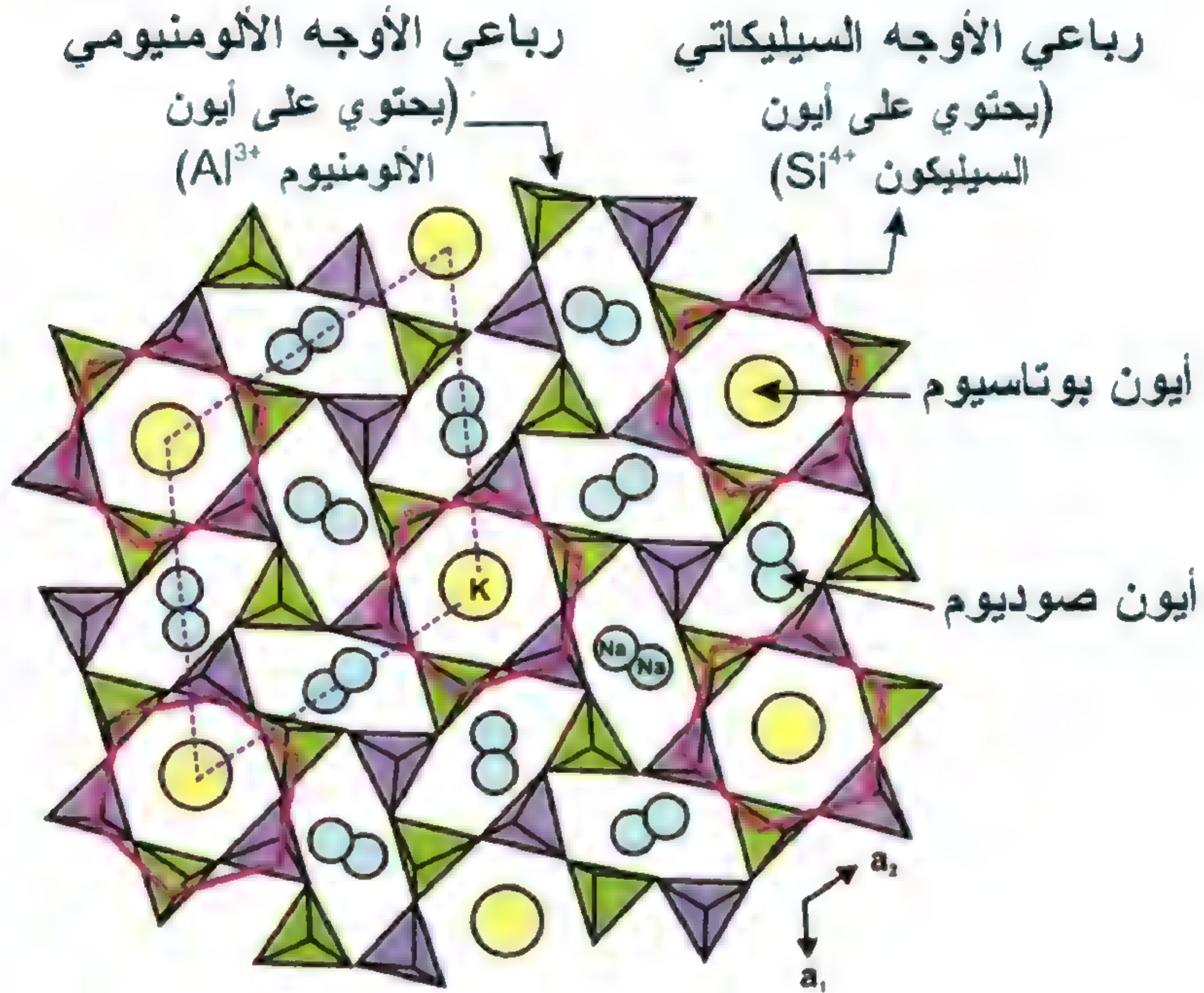
شكل ٧-٣٦: العلاقة بين المحاور البلورية a_1 , a_2 , a_3 , c ومحاور مجسم معامل الانكسار X , Y , Z في بلورة لمعدن النيفيلين.

يتبلور المعدن بفصيلة السداسي، حيث: $A = 9.993$ ، $J = 8.374$ أنجستروم ونسبة $A : J = 1 : 0.836$. تتواجد بلورات المعدن على هيئة كتلية أو حبيبية. كما توجد بعض البلورات المنشورية والعمدانية ذات مقطع عرضي سداسي (شكل ٧-٣٦). من الممكن أن تتواجد البلورات على شكل توأمى ولكن يصعب

رؤيتها بالعين المجردة أو تحت الميكروسكوب العادي.

تشابه البنية البلورية للنيفيلين مع تلك لمعدن التريديميت، حيث تتكون من طبقات متبادلة من رباعيات الأوجه السيليكاتية والألومنيومية ($\text{AlO}_4, \text{SiO}_4$) مرتبة على شكل حلقات، كما تتخذ رباعيات الأوجه إتجاهات متبادلة لأعلى ولأسفل (شكل ٧-٣٧)، وتحتوى رباعيات الأوجه المتجهة

لأعلى على أيون السيليكون Si^{4+} ، بينما تحتوى رباعيات الأوجه المتجهة لأسفل على أيون الألومنيوم Al^{3+} . تشترك وحدة رباعي الأوجه المتجهة لأعلى مع وحدة رباعي الأوجه المتجهة لأسفل بالطبقة التي تعلوها عن طريق أنيونات الأكسجين. تشغل كاتيونات الصوديوم والبوتاسيوم منتصف الحلقات السداسية من رباعيات الأوجه.



شكل ٧-٣٧: البنية البلورية لمعدن النيفيلين.

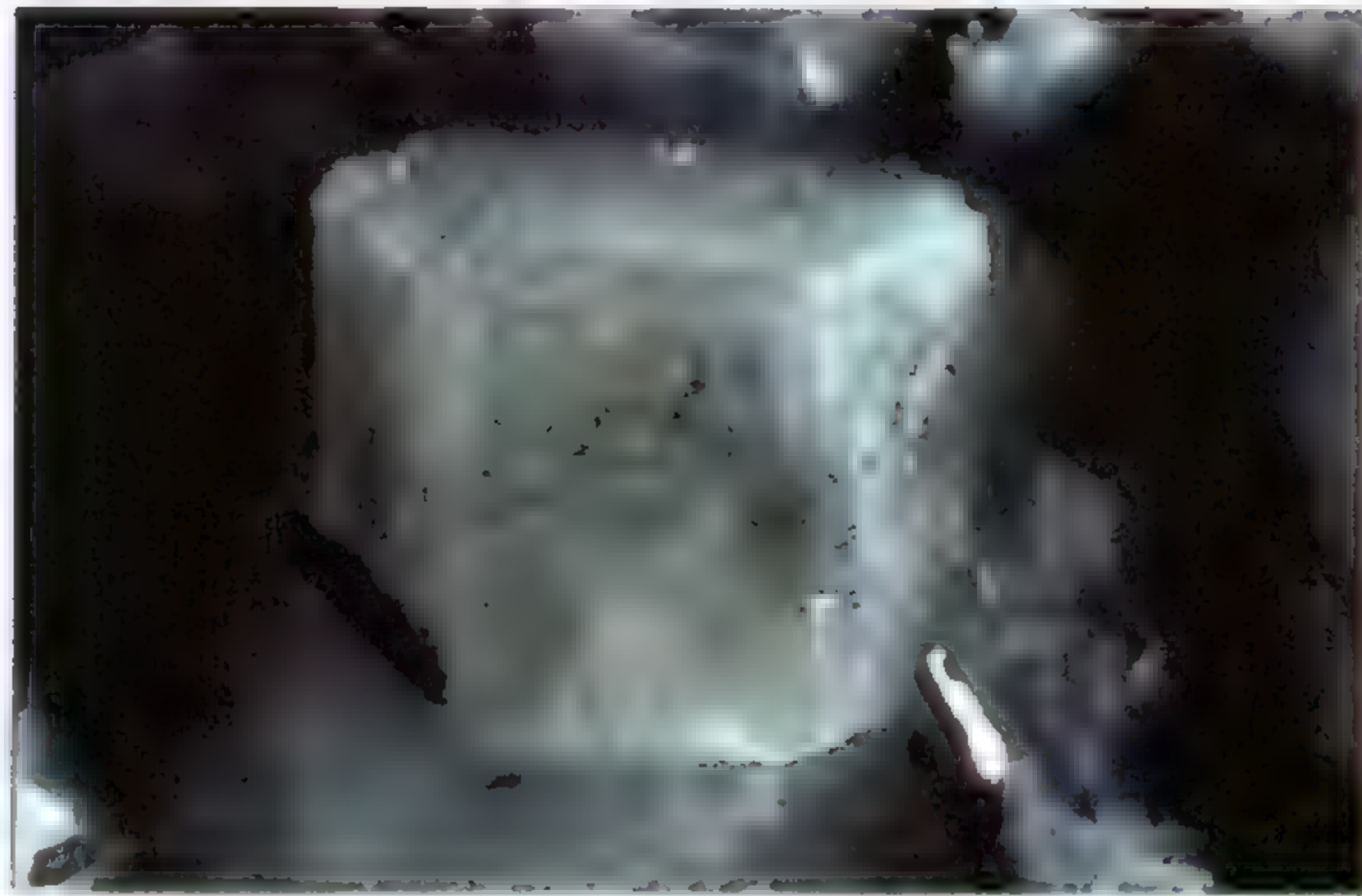
كيميائية المعدن

تكتب الصيغة الكيميائية للنيفيلين في بعض المراجع على شكل $NaAlSiO_4$ ، ولكن يندر وجود النيفيلين على هذه الصورة النقية ولكن دائماً يتواجد البوتاسيوم بكميات متفاوتة ولذلك تكتب الصيغة الكيميائية هكذا $[Na_3K(AlSiO_4)_4]$. ويرجع ذلك إلى إن هناك بعض المواقع بالبنية البلورية للنيفيلين تساعد على إستيعاب الأيونات الكبيرة مثل البوتاسيوم. تصل نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم في معظم أنواع النيفيلين إلى ١:٣. عند درجات

الحرارة العالية، يظهر محلول صلب كامل بين النيفيلين النقي (١٠٠%) صوديوم) والكالسيلايت (١٠٠% بوتاسيوم). كما يمكن وجود نسبة من الكالسيوم.

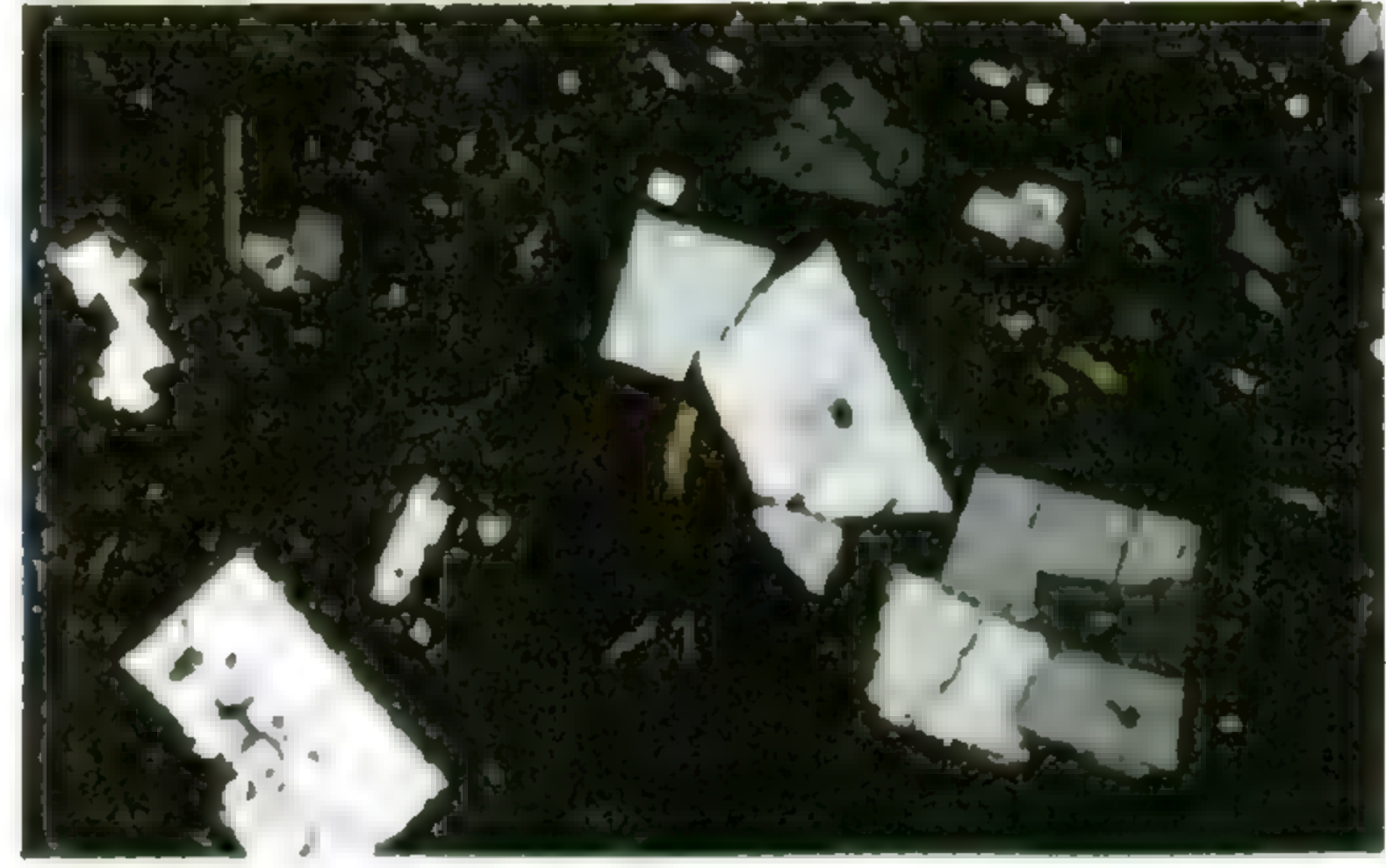
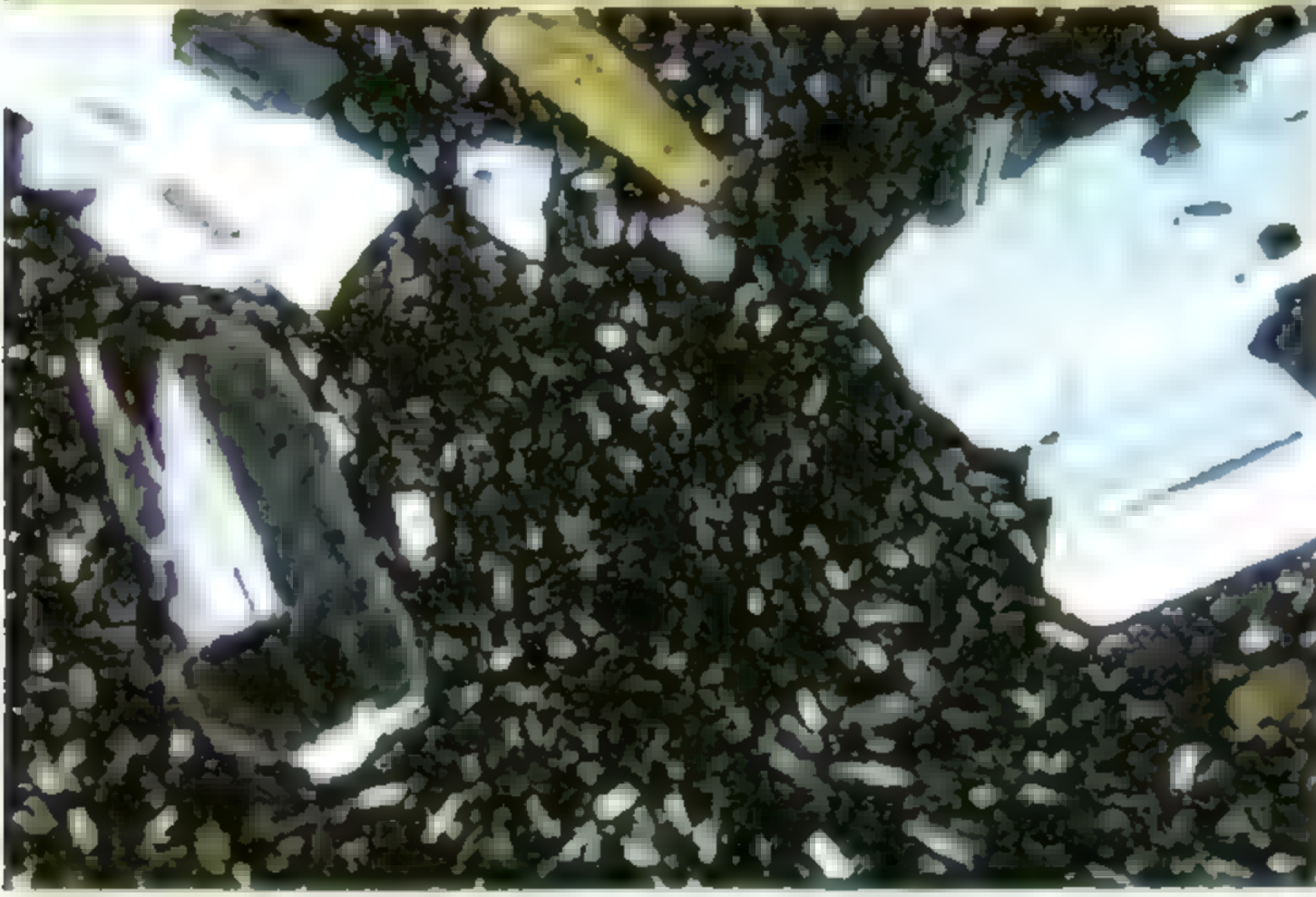
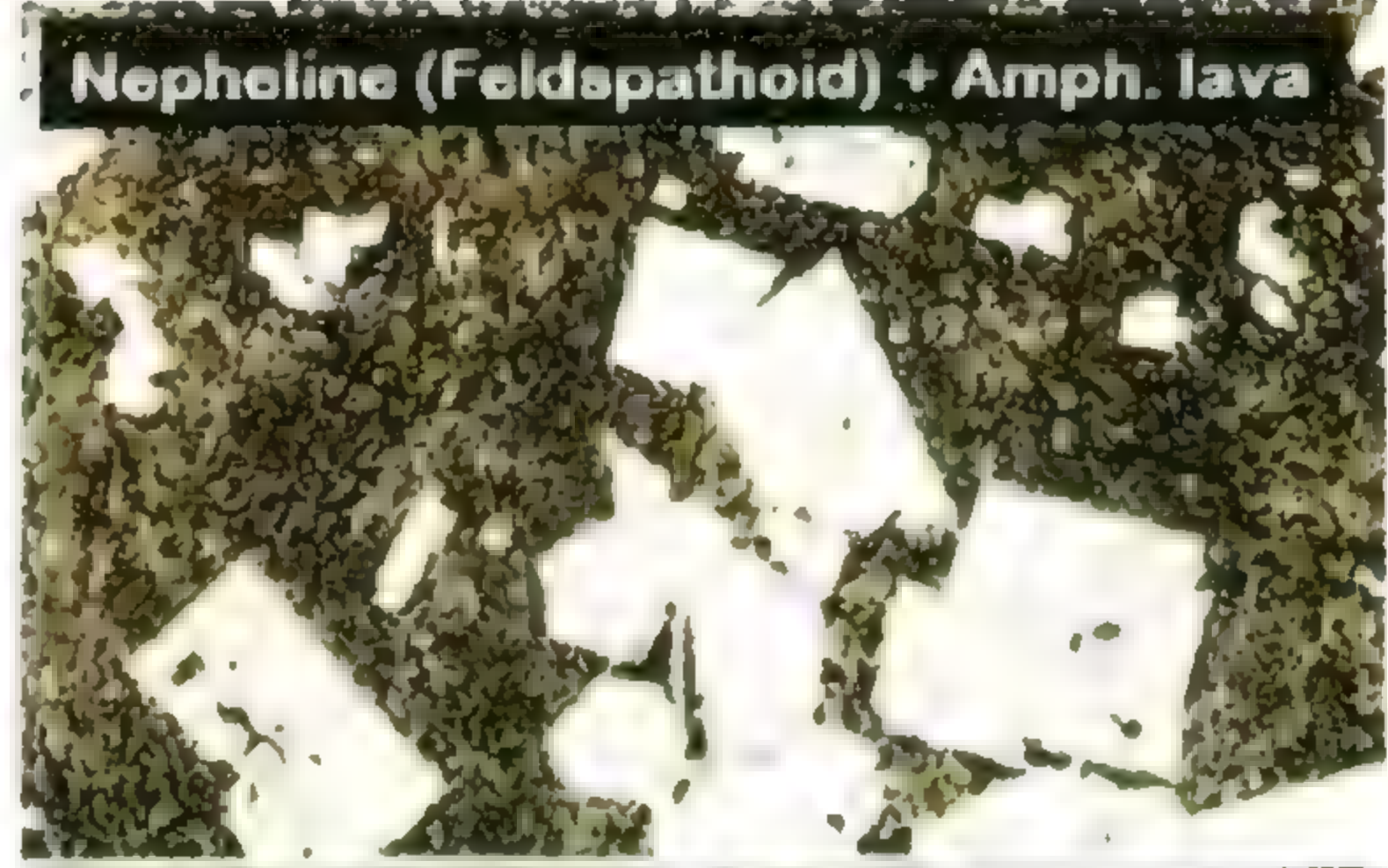
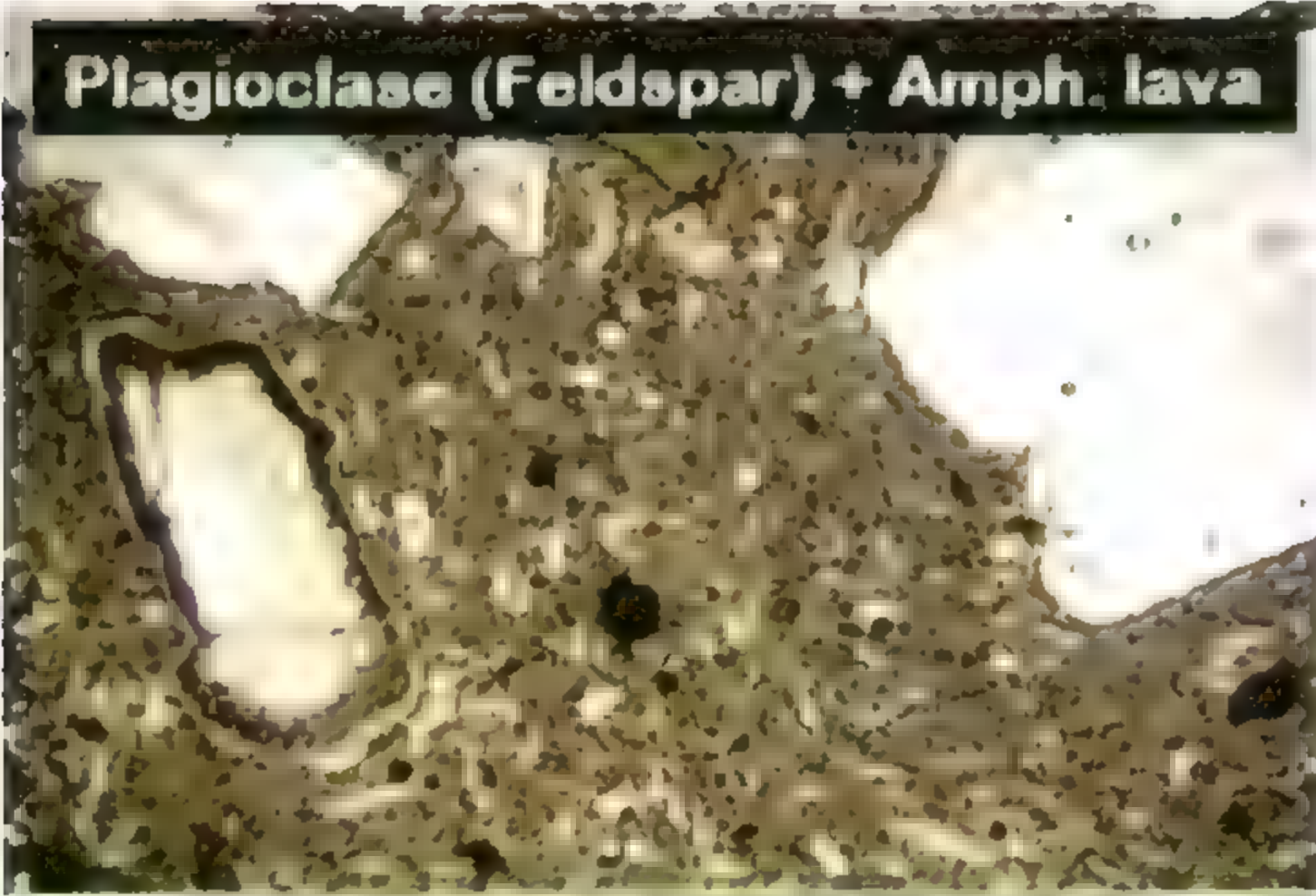
الصفات الفيزيائية والبصرية

يتخذ المعدن غالباً لون أبيض إلى رمادي (شكل ٧-٣٨) أو بني ولكن أحياناً يتخذ ألوان أخرى. البريق شحمي Greasy إلى مطفي في العينات المجواه. المخدش أبيض. المعدن نصف شفاف إلى شفاف في بعض الأحيان. الصلادة = ٥,٥-٦ والإنقسام منشوري ضعيف في ثلاث اتجاهات ولكن يندر رؤيته. الوزن النوعي = ٢,٥٥ - ٢,٦٧. تحت الميكروسكوب، يظهر المعدن عديم اللون. التضاريس منخفضة سالبة إلى منخفضة موجبة. ألوان التداخل من الرتبة الأولى (رمادي). المعدن أحادي المحور سالب ويبلغ معامل الانكسار $(\omega) = 1,529 - 1,546$ و $(\epsilon) = 1,526 - 1,544$ وقرينة الانكسار المزدج $(\delta) = 0,003 - 0,005$. تتشابه الصفات البصرية للنيفيلين مع مثيلتها في معادن الفلسبار بالصخور البركانية والجوفية (شكل ٧-٣٩).

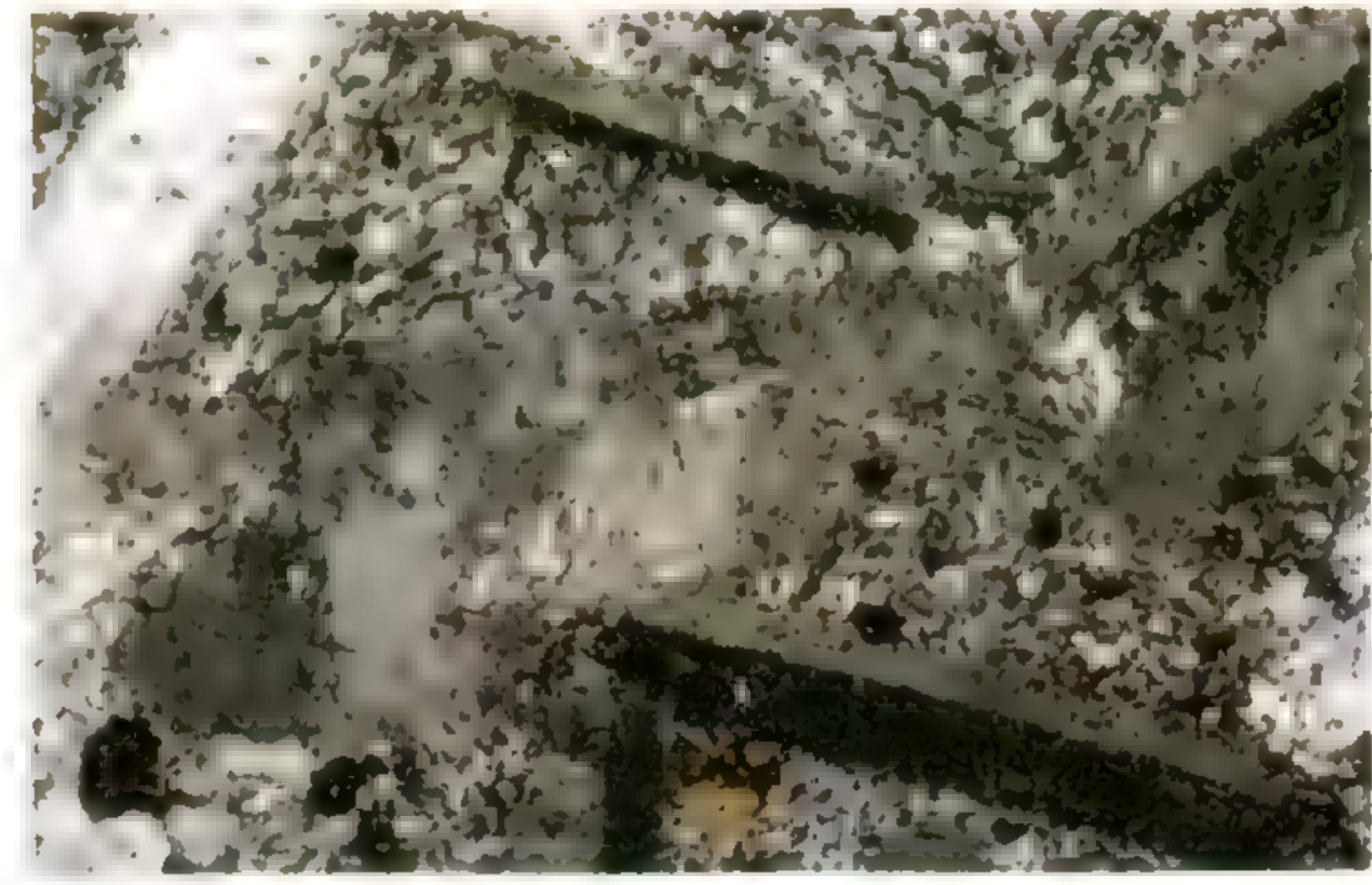
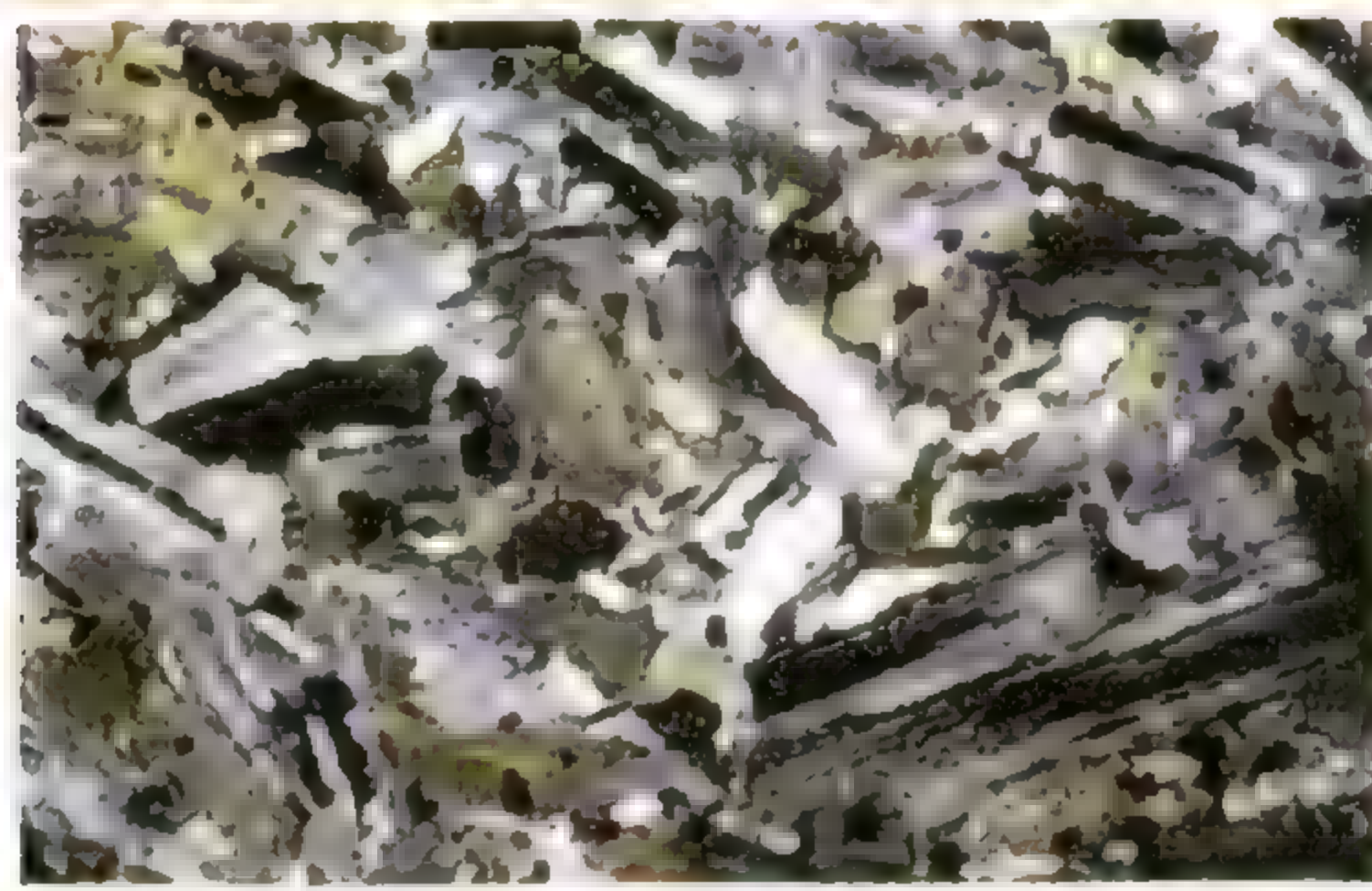
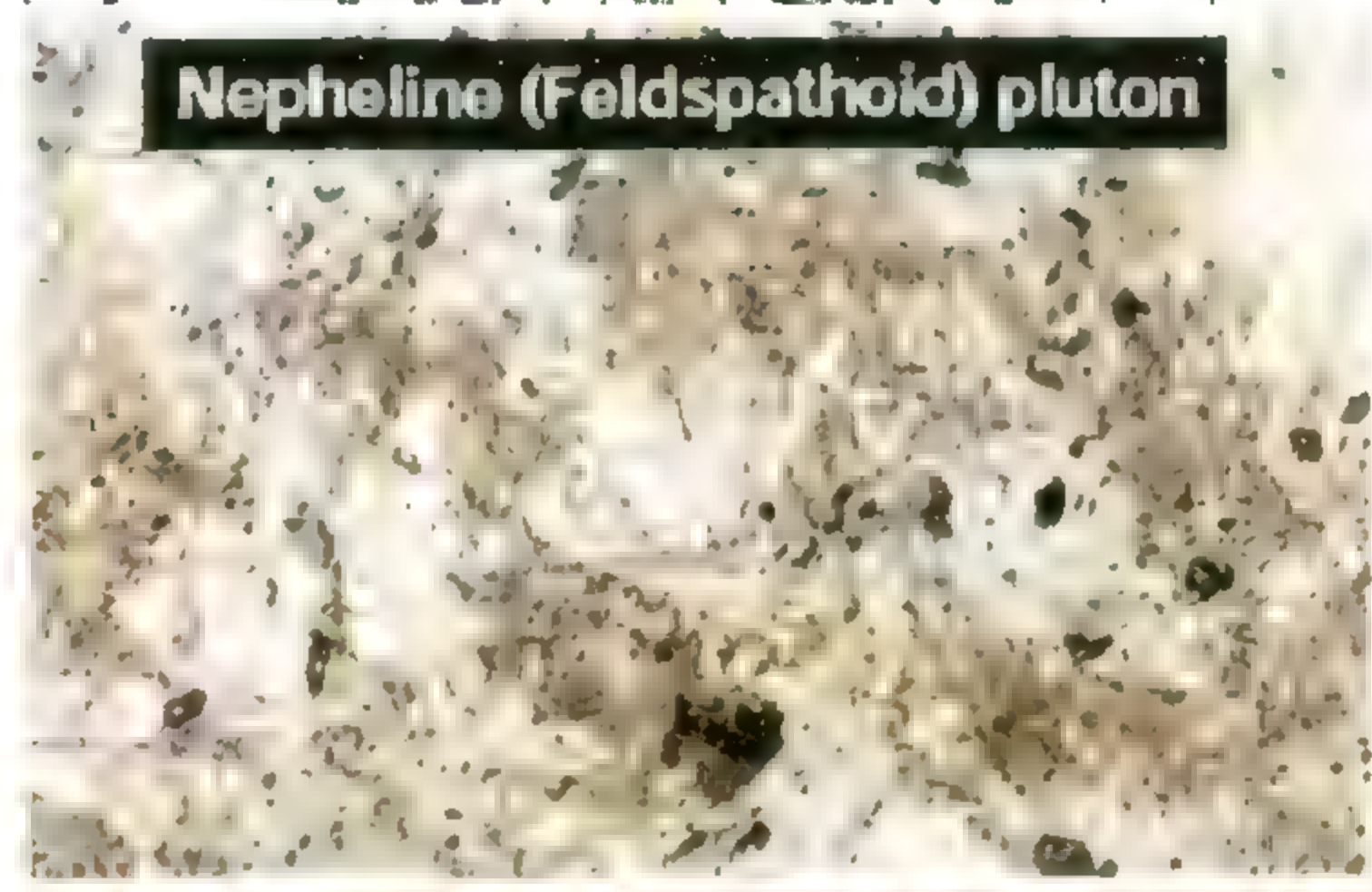
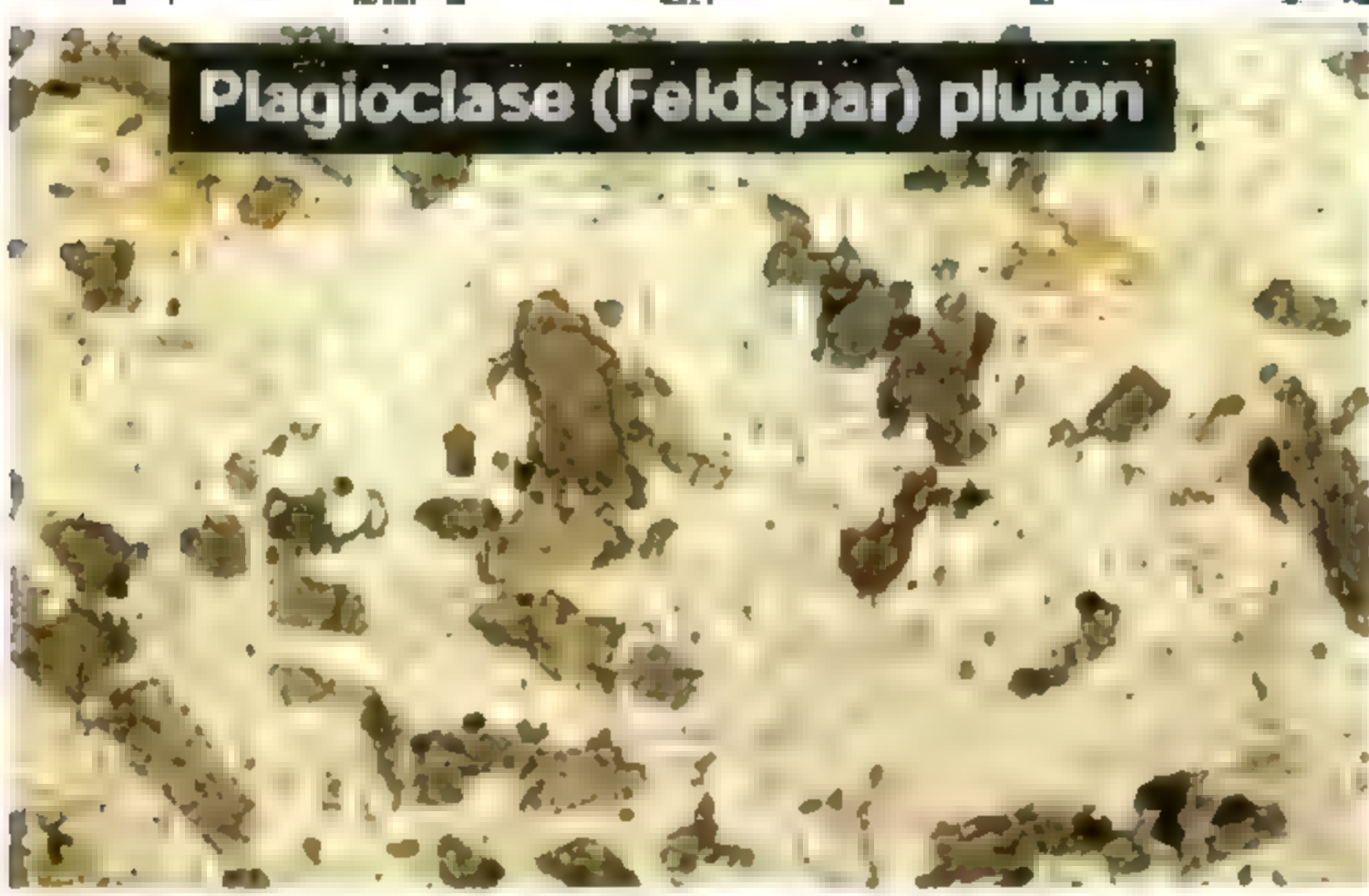


شكل ٧-٣٨: بلورة عديمة اللون للنيفيلين على هيئة منشور سداسي.
(© Lou Perloff / Photo Atlas of Minerals)

(أ)



(ب)



شكل ٧-٣٩: صور ميكروسكوبية تظهر مدى التشابه في الصفات البصرية بين النيفيلسين والبلاجيوكليز بالصخور البركانية (أ) والصخور الجوفية (ب) الصورتين السفليتين في كل من أ، ب مأخوذتين بمنشوري نيكول.

التواجدات والصحبة المعدنية

يوجد النيفيلين كمعدن أساسي بالصخور النارية مثل السيانيت النيفيليني والمونزونيت النيفيليني والنيفيلينيت. ومن المعادن المصاحبة: الفلسبار البوتاسي والبلاجيوكليز والأمفيبول والصوداليت والناتروليت والبيكتوليت. ومن أشهر أماكن تواجده: جزيرة كولا Kola Peninsula وروسيا وإيطاليا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية. كما يوجد بجبل ساودا Jabal Sawda بالمملكة العربية السعودية بصخور السيانيت النيفيليني مصاحباً لمعادن الفلسبار البوتاسي والصوداليت والبلاجيوكليز والهاستينجزيث الحديدي والإيجيرين والأوجيت والبيوتيت. ويوجد في مصر في عدة أماكن مصاحباً للسيانيت النيفيليني كما في منطقة أبو خروق.

الاستخدامات

يستخدم النيفيلين والبلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي وهي المعادن الأساسية المكونة لصخور السيانيت النيفيليني بعد طحنها وتنقيتها من معادن الحديدوماغنسيومية في صناعة الزجاج والسيراميك. كما يمكن استخدامه في صناعات الدهانات والبلاستيك المطاط. يعتبر النيفيلين مصدراً للألومنيوم حيث يحتوي على نسبة عالية منه ولكنه يأتي بعد خام البوكسيت الذي يعد المصدر الأساسي للألومنيوم.

اللويسيت Leucite



يأتي اسم المعدن من الكلمة الإغريقية *leucas* والتي تعني أبيض ويشير الاسم إلى اللون الأبيض المميز للمعدن.

البنية البلورية

يتبلور اللويسيت بفصيلة المكعب (شكل الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف Trapezohedron) عند درجات الحرارة العالية. تتحول البنية من فصيلة المكعب (غير مستقر) إلى بنية تتبع فصيلة الرباعي مع التبريد

دون تغيير الشكل الخارجى. رغم أن المعدن يتبلور بفصيله الرباعى إلا أن الشكل الخارجى يأخذ شكل مكعب كاذب ويسمى الشكل البلورى فى هذه الحالة الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف الكاذب Pseudo-Trapezohedron (شكل ٧-٤٠). تبلغ أبعاد خلية الوحدة فى النوع المتبلور



شكل ٧-٤٠: لوسيت على هيئة الأربعة وعشرون وجهاً شبه المنحرف الكاذب من منطقة لوكنا Louena بجمهورية التشيك.

فى فصيلة الرباعى: $a=13.06$ ، $b=13.75$ أنجستروم. نسبة أطوال المحاور $a:b=c=1:1.053$. يوجد المعدن على شكل بلورات صغيرة بأرضية الصخور البركانية. يكثر به التوأمية المتكررة على المستويات $\{110\}$ و $\{101\}$ وإتجاهات أخرى.

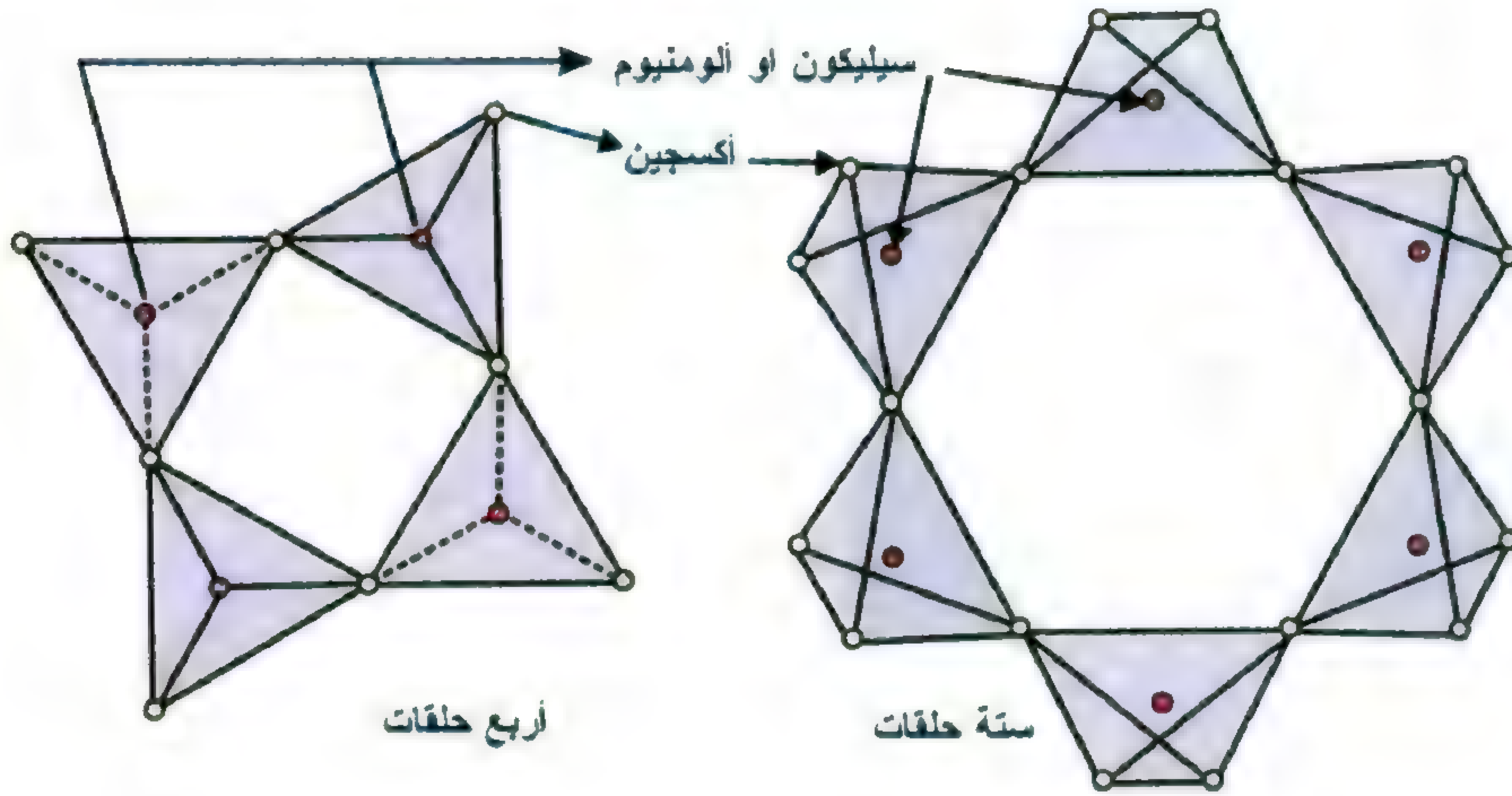
تتكون البنية البلورية للوسيت من أربع إلى ٦ حلقات من رباعيات الأوجه السيليكاتى والألومنيومى

(شكل ٧-٤١). تتصل هذه الحلقات مع بعضها لتكون بنية شبكية. تشغل أيونات البوتاسيوم الفراغات الكبيرة بهذه البنية. عند درجات حرارة أعلى من 625°C ، تتخذ البنية تماثل فصيلة المكعب، ولكن فى درجات حرارة أقل من 625°C ، يحدث تشوه للبنية إلى فصيلة الرباعى. عند درجات الحرارة العالية، يستطيع أيون البوتاسيوم شغل الفراغات الكبيرة بالبنية البلورية بحرية حركته التذبذبية، ولكن مع انخفاض درجة الحرارة، لا يستطيع أيون البوتاسيوم ملئ هذه الفراغات وذلك لعدم قدرته على التذبذب بحرية مما يؤدي إلى تقلص حجم تلك الفراغات حتى تتناسب مع حجم أيونات البوتاسيوم التى تشغلها ومن ثم تتشوه البنية البلورية.

كيمائية المعدن

فى معظم الأحيان، يتكون اللوسيت فى صورته النقية من سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم KAlSi_2O_6 مع وجود كميات قليلة من الصوديوم والنتى

تحل محل البوتاسيوم، ويوجد أيضاً الحديد الثلاثي والذي يحل محل الألومنيوم. تصل نسبة أكسيد البوتاسيوم إلى حوالي ٢١,٥% وأكسيد الألومنيوم ٢٣,٥% وأكسيد السيليكون حوالي ٥٥%.



شكل ٧-٤١: البنية البلورية للوسيت (عن دير وأخرون ١٩٨٩).

الصفات الفيزيائية والبصرية

اللون أبيض أو رمادي وأحياناً مع بقع صفراء أو حمراء (أنظر شكل ٧-٤٠). البريق زجاجي أو شحمي إلى مطفي. المخدش أبيض. البلورات شفافة أو نصف شفافة وأحياناً معتمة. الصلادة = ٥,٥ - ٦ ولا يوجد انفصام والمكسر محاري. الوزن النوعي = ٢,٤ - ٢,٥. تحت الميكروسكوب، يظهر المعدن باللون الأبيض والرمادي وأحياناً عديم اللون وفي وجود منشوري نيكول يعطي المعدن ألوان تداخل رمادية من الرتبة الأولى (شكل ٧-٤٢). التضاريس منخفضة سالبة والتوأمية متحدة المركز Concentric. المعدن أحادي المحور موجب. معامل الانكسار $(\omega) = 1,508 - 1,511$ و $(\epsilon) = 1,509 - 1,511$ وقرينة الانكسار المزدوج $(\delta) = 0,003 - 0,004$.

التواجدات والصحبة المعدنية

تعتبر الصخور البركانية للعصر الثلاثي والرابعي هي أكثر الصخور إحتواءً على اللوسيت، مثل الصخور البركانية المافية والغنية بالبوتاسيوم وما

يُصاحبها من صخور جوفية ضخمة. يتواجد المعدن دائماً مع البلاجيوكليس والنيفيلين والصوداليت والسانيدين والكلينوبيروكسين والأمفيبول. ومن أشهر أماكن تواجده: إيطاليا والولايات المتحدة الأمريكية والبرازيل وكندا.



شكل ٧-٤٢: صورة ميكروسوبية للوسيت (رمادي اللون) باستخدام منشوري نيكول.

الاستخدامات

استخداماته قليلة، فقد تم استخدامه في إيطاليا كمصدر للبوتاسيوم والذي يستعمل في صناعة الأسمدة، كما بُذلت محاولات لاستخدامه كمصدر للألومنيوم.

صوداليت Sodalite

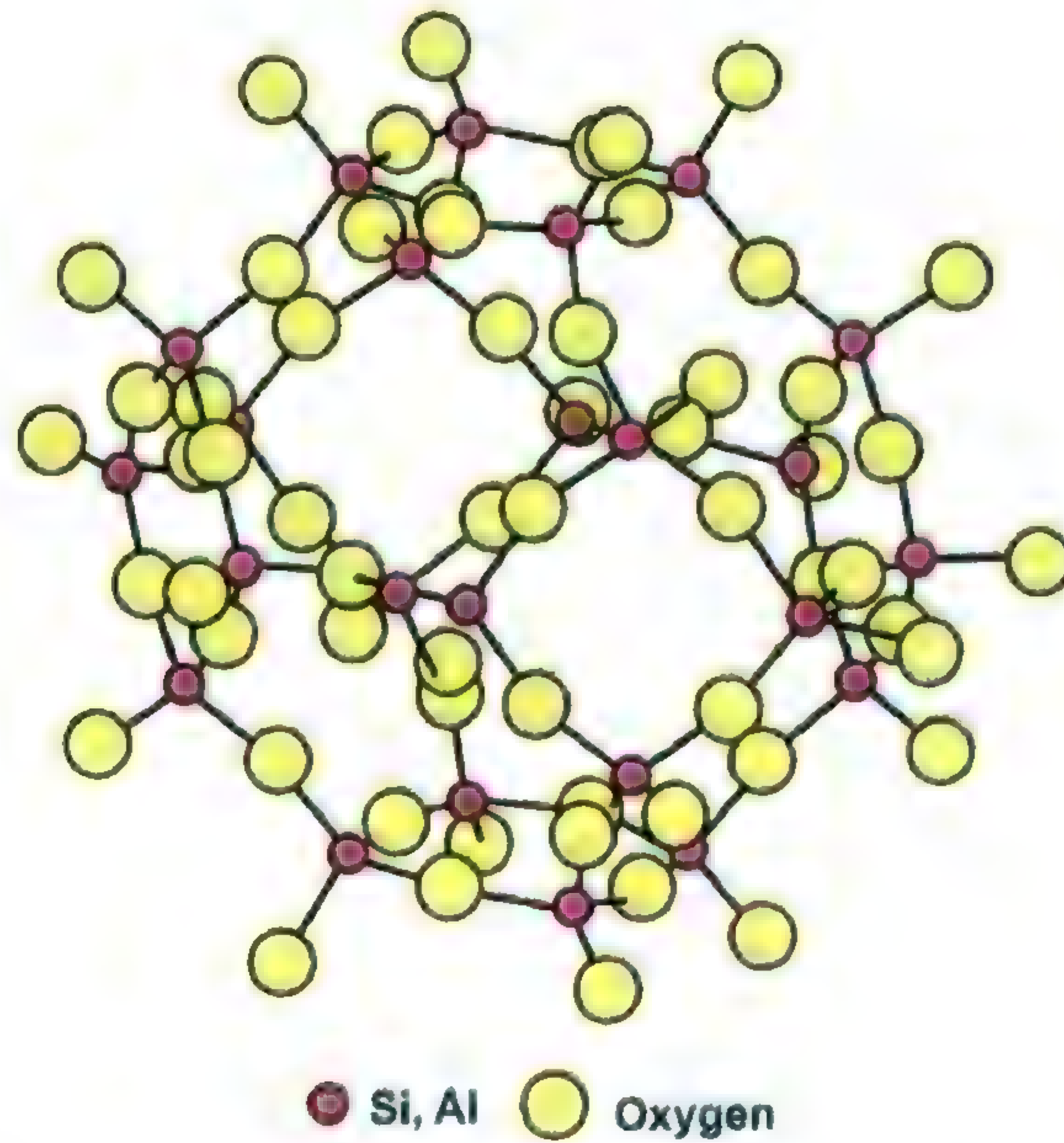


يرجع اسم المعدن إلى محتواه العالي من الصوديوم.

البنية البلورية

يتبلور المعدن بفصيلة المكعب وتبلغ أبعاد خلية الوحدة $a = 8.870$ - 8.882 أنجستروم ومجموع الذرات بخلية الوحدة $(Z) = 1$. توجد البلورات على شكل أثني عشر وجهاً Dodecahedron ولكنها نادرة. عادةً ماتكون

البلورات كتلية أو حبيبات ناقصة الأوجه. تكثر التوأمية على المستوى {111}. تتشابه البنية البلورية للصوداليت مع معادن الزيوليت حيث تتكون من شبكية من رباعيات الأوجه السيليكاتية والألومنيومية المتبادلة والتي تحتوى على فجوات. تشغل أيونات الكلورين Cl^- وما حولها من كاتيونات الصوديوم Na^+ تلك الفجوات (شكل ٧-٤٣).

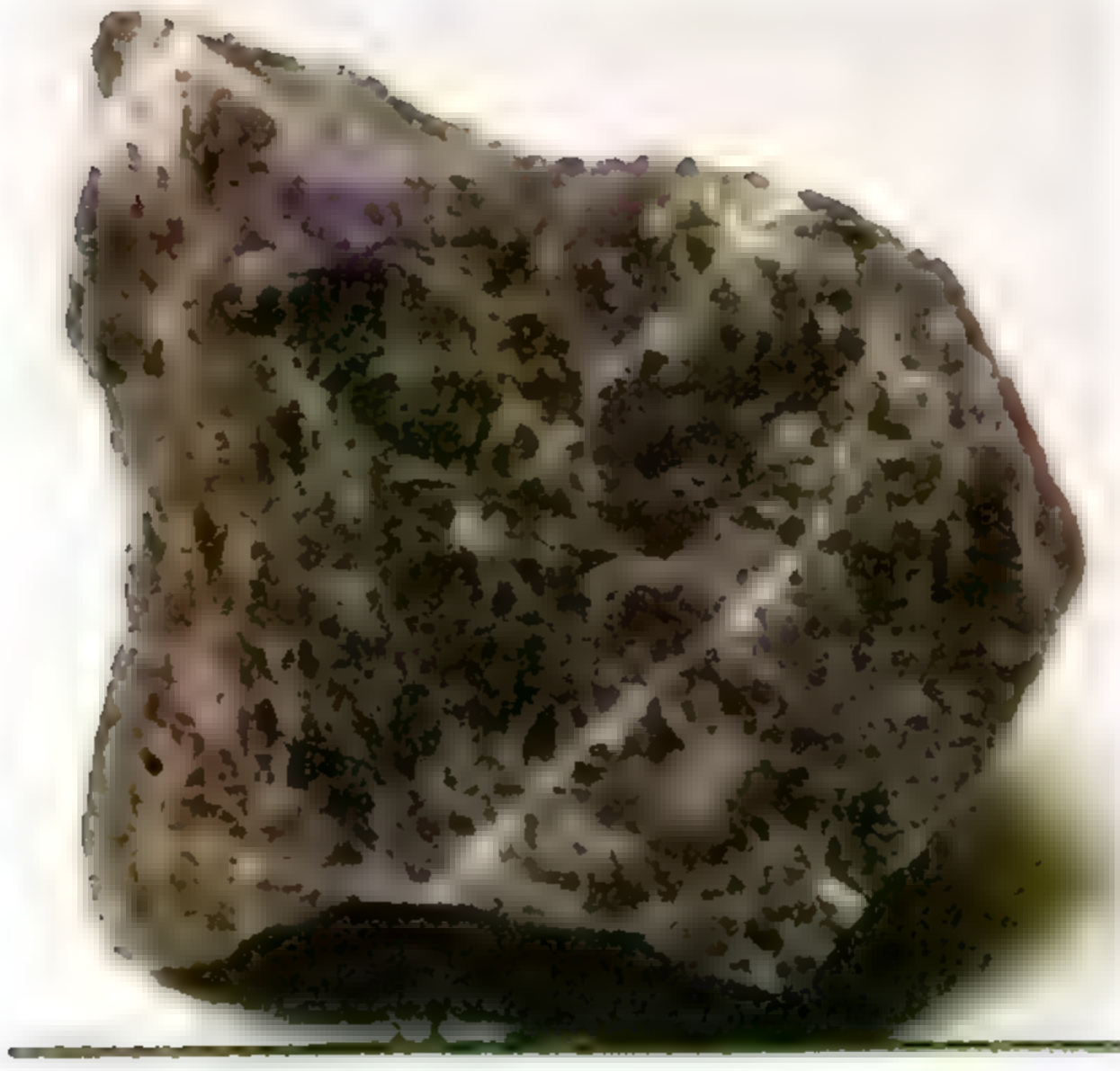


شكل ٧-٤٣: جزء من شبكية سيليكات الألومنيوم بالبنية البلورية للصوداليت (براج ١٩٣٧).

كيمائية المعدن

يعتبر معدن الصوداليت أحد معادن المجموعة التي تسمى باسمه "مجموعة الصوداليت" والتي تشتمل أيضاً على نوزيان ($Na_8Al_6Si_6O_{24}SO_4$) Nosean وهونى Haune $[(Na,Ca)_{4-8}Al_6Si_6(O,S)_{24}(SO_4)_{1-2}]$. يتكون الصوداليت من سيليكات الألومنيوم والصوديوم مع الكلورين. تصل نسبة أكسيد الصوديوم إلى ٢٥,٦% وأكسيد الألومنيوم ٣١,٦٥% وأكسيد السيليكون ٣٧,٢%، والكلورين ٧,٣%.

الصفات الفيزيائية والبصرية



شكل ٧-٤٤: صوداليت ذو لون أزرق
غامق (© 2000 W.Gray).

اللون أزرق أو أبيض أو رمادي وأحياناً أخضر (شكل ٧-٤٤). البريق زجاجي إلى شحمي. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة، ولكن البلورات ذات الهيئة الكتلية تكون معتمة. الصلادة = ٥,٥-٦ والإنقسام ضعيف في ستة اتجاهات ولكن ينדר رؤيته. المكسر غير مستوي. الوزن النوعي = ٢,١-٢,٣. تحت الميكروسكوب، يُظهر المعدن تضاريس متوسطة سالبة. المعدن أيزوتروبي.

التواجدات والصحبة المعدنية

يتواجد الصوداليت على شكل عروق بالصخور الجوفية مثل السيانيت النيفيليني والتراكيت والفونوليت مصاحباً معادن الفلسباتويد الأخرى والكالسيت والكنكرينيت Cancrinite والناتروليت. ومن أشهر أماكن تواجده: جرينلاند حيث يوجد الصوداليت الأخضر والبرازيل وهي أكثر مصدر لمعدن الصوداليت والمستخدم كحجر للزينة وجنوب إفريقيا ونامبيا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية.

الاستخدامات

استخدامات الصوداليت محدودة ولكن الأنواع الزرقاء منه تستخدم كأحجار زينة.

مجموعة الزيوليت Zeolite group

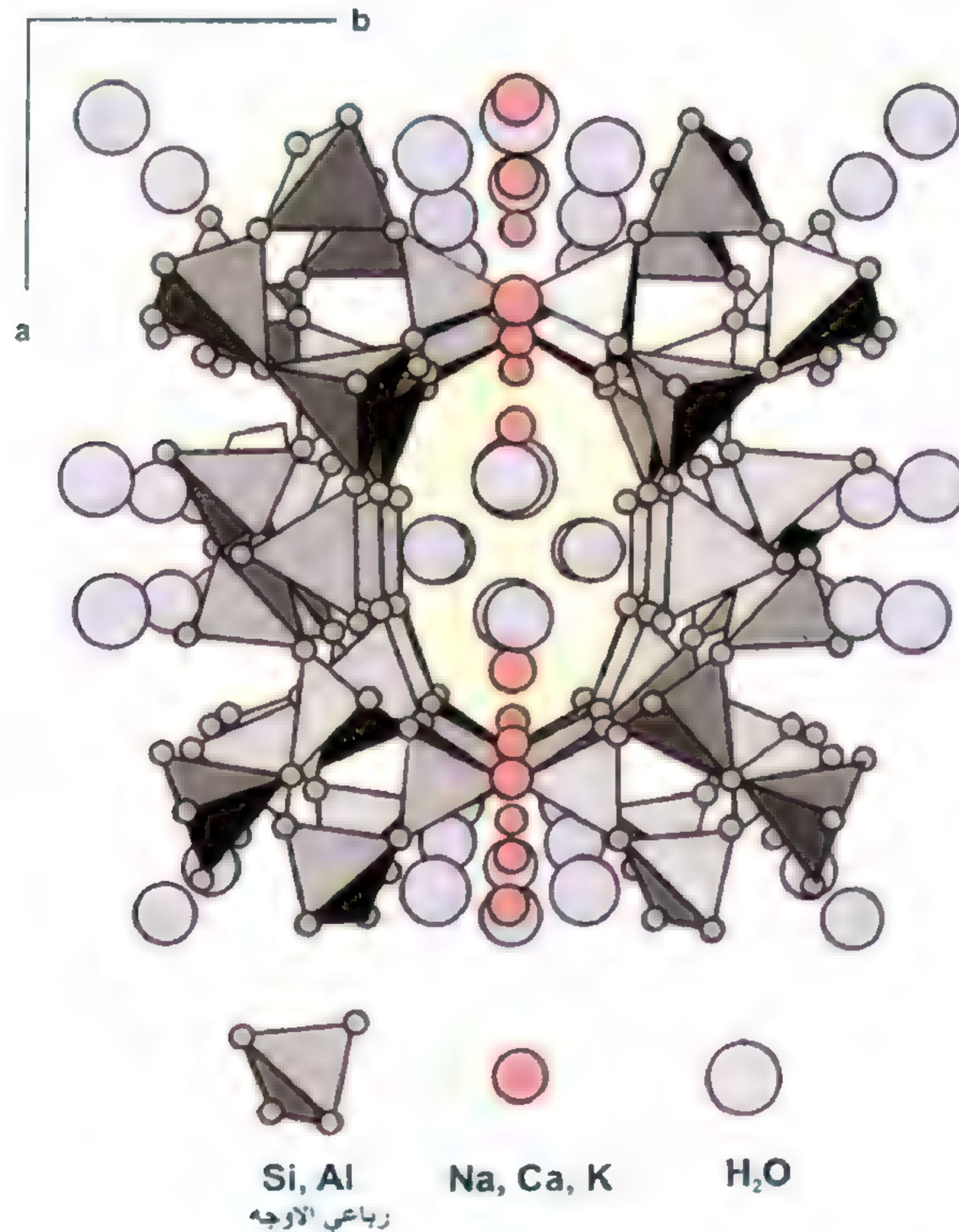
يأتى اسم الزيوليت من كلمات إغريقية تعنى "الحجر الذى يغلى". وقد تم استخدام هذا الاسم فى القرن الثامن عشر بواسطة أحد علماء علم المعادن

السويديين ويدعى أكسيل فريدريك كرونشديت Axel Fredrik Cronstedt والذي لاحظ أن صخر الزيوليت يبدأ عند تسخينه في الحركة وكأنه ماء يغلي.

البنية البلورية

تتكون البنية البلورية لمعادن الزيوليت من وحدات متشابكة من رباعي الأوجه السيليكاتي SiO_4 ورباعي الأوجه الألومنيومي AlO_4 (شكل ٧-٤٥). نسبة السيليكون + الألومنيوم \ الأكسجين $((\text{Si}+\text{Al})/\text{O}) = 2/1$.

تتميز البنية البلورية للزيوليت بوجود أماكن شاغرة كبيرة والتي تسمح بدخول الكاتيونات الكبيرة مثل الصوديوم والبوتاسيوم والباريوم والكالسيوم وأيضاً بعض الجزيئات والمجموعات الكاتيونية مثل الماء والأمونيا وأيوني الكربونات والنترات. تتصل الفراغات مع بعضها وتكون قنوات طويلة وواسعة وذات أحجام مختلفة حسب نوع المعدن. ويرجع الوزن النوعي المنخفض لمعادن الزيوليت إلى وجود تلك الفراغات والقنوات بالبنية



شكل ٧-٤٥: البنية البلورية للزيوليت (نيسي ٢٠٠٠ Nesse).

البلورية. تسمح هذه القنوات بحرية حركة الأيونات والجزيئات بالدخول والخروج من معادن الزيوليت. وتتميز تلك المعادن بقدرتها على فقد وإمتصاص الماء دون تشوه في بنيتها البلورية.

تصنيف الزيوليت Zeolite Classification

تحتوى مجموعة الزيوليت على أكثر من ٤٠ معدن تكونت طبيعياً (جدول ٦-٧)، وهناك أيضاً حوالى ٦٠٠ معدن تم تخليقها صناعياً. ويرجع ذلك إلى طبيعة البنية البلورية لمعادن الزيوليت والتي تسمح بعمليات التبادل الأيوني. ومنذ عدة سنوات إجتمعت جمعية علم المعادن الدولية (IMA) لتعريف وتصنيف معادن مجموعة الزيوليت وبالفعل تم التوصل إلى تصنيف مجموعة الزيوليت إلى عدة سلاسل تضم الأنواع المختلفة لمعادن الزيوليت (كومبس وآخرون ١٩٩٧ Coombs et al.).

جدول ٦-٧: أنواع الزيوليت المقترحة من قبل جمعية علم المعادن الدولية.

Species Name اسم النوع	Series السلسلة
Berwsterite-Sr بيروشتيريت-سترانشيوم	Berwsterite بيروشتيريت
Berwsterite-Ba بيروشتيريت-باريوم	
Chabazite-Ca شابازيت-كالسيوم	Chabazite شابازيت
Chabazite-Na شابازيت-صوديوم	
Chabazite-K شابازيت-بوتاسيوم	
Clinoptilolite-K كلينوبتيلولايت-بوتاسيوم	Clinoptilolite كلينوبتيلولايت
Clinoptilolite-Na كلينوبتيلولايت-صوديوم	
Clinoptilolite-Ca كلينوبتيلولايت-كالسيوم	
Dachiardite-Ca داشيارديت-كالسيوم	Dachiardite داشيارديت
Dachiardite-Na داشيارديت-صوديوم	
Erionite-Ca إريونيت-كالسيوم	Erionite إريونيت
Erionite-K إريونيت-بوتاسيوم	
Erionite-Na إريونيت-صوديوم	
Faujasite-Na فوجاسيت-صوديوم	Faujasite فوجاسيت
Faujasite-Ca فوجاسيت-كالسيوم	
Faujasite-Mg فوجاسيت-ماغنسيوم	

تابع جدول ٦-٧

Species Name	اسم النوع	Series	السلسلة
Ferrierite-Mg	فيريريت - ماغنسيوم	Ferrierite	فيريريت
Ferrierite-K	فيريريت - بوتاسيوم		
Ferrierite-Na	فيريريت - صوديوم		
Gmelinite-Na	جملينيت - صوديوم	Gmelinite	جملينيت
Gmelinite-Ca	جملينيت - كالسيوم		
Gmelinite-K	جملينيت - بوتاسيوم		
Heulandite -Ca	هيولانديت - كالسيوم	Heulandite	هيولانديت
Heulandite -Na	هيولانديت - صوديوم		
Heulandite -K	هيولانديت - بوتاسيوم		
Heulandite -Sr	هيولانديت - سترنشيوم		
Ievyne -Ca	إيفين - كالسيوم	Ievyne	إيفين
Ievyne -Na	إيفين - صوديوم		
Paulingite-K	بولينجيت - بوتاسيوم	Paulingite	بولينجيت
Paulingite-Ca	بولينجيت - كالسيوم		
Phillipsite-Na	فيليبسيت - صوديوم	Phillipsite	فيليبسيت
Phillipsite-Ca	فيليبسيت - كالسيوم		
Phillipsite-K	فيليبسيت - بوتاسيوم		
Stilbite-Ca	ستيلايت - كالسيوم	Stilbite	ستيلايت
Stilbite-Na	ستيلايت - صوديوم		
		Natrolite	ناتروليت
		Analcime	أنالسيم
		Laumontite	لاومونتيت

كيمائية المعدن

الزيوليت عبارة عن مجموعة من المعادن تحمل الصيغة الكيميائية التالية:



حيث $M =$ صوديوم أو بوتاسيوم (كاتيونات أحادية التكافؤ)
 $D =$ كالسيوم أو ماغنسيوم أو كاتيونات أخرى ثنائية التكافؤ

تتغير نسبة السيليكون إلى الألومنيوم من ١:١ إلى ١:٦. تقوم الكاتيونات من النوع M و D بتعويض فرق الشحنة الناتج عن إحلال الألومنيوم (Al^{3+}) محل السيليكون (Si^{4+}) بوحدات رباعي الأوجه. تتكون معادن الزيوليت في الطبيعة من تفاعل الزجاج البركاني مع الماء الملحي Saline water عند درجات حرارة تتراوح بين ٢٧ و ٥٥°م، ودرجة حامضية تتراوح بين ٩ و ١٠. يتم هذا التفاعل في فترة زمنية تتراوح بين ٥٠ إلى ٥٠٠٠٠ سنة. تمثل أكاسيد السيليكون والألومنيوم والصوديوم المكونات الأساسية بالتركيب الكيميائي للزيوليت، بالإضافة إلى وجود كميات من الماء تتراوح بين ١٠-٢٢ نسبة وزنية (جدول ٧-٧). كما توجد كميات من الكالسيوم والبوتاسيوم وأحياناً الحديد والماغنسيوم.

جدول ٧-٧: أمثلة للتحاليل الكيميائية لبعض من معادن الزيوليت من منطقة مودرن، نونا سكوتيا، كندا (بي-بيبير ٢٠٠٠ Pe-Piper).

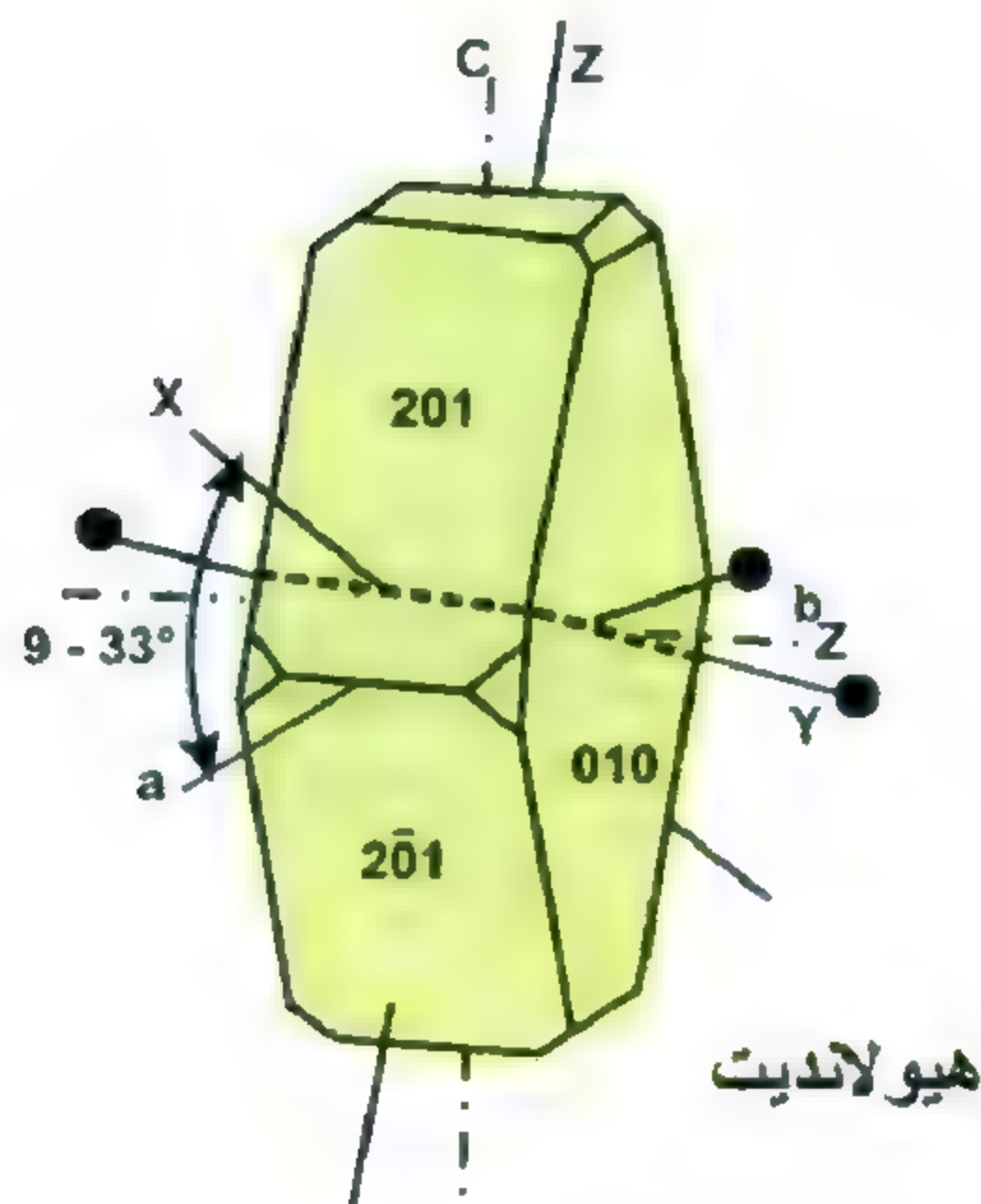
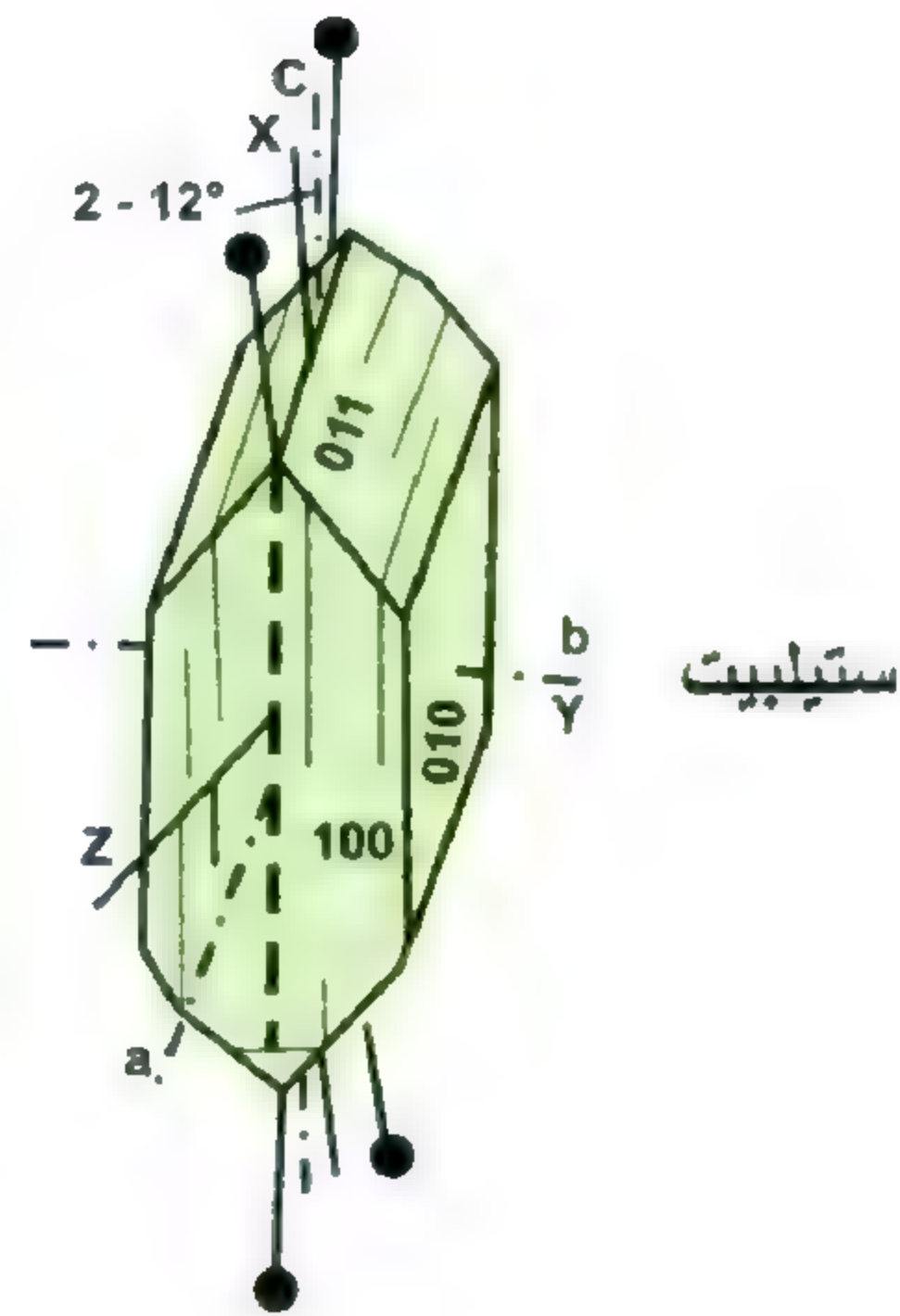
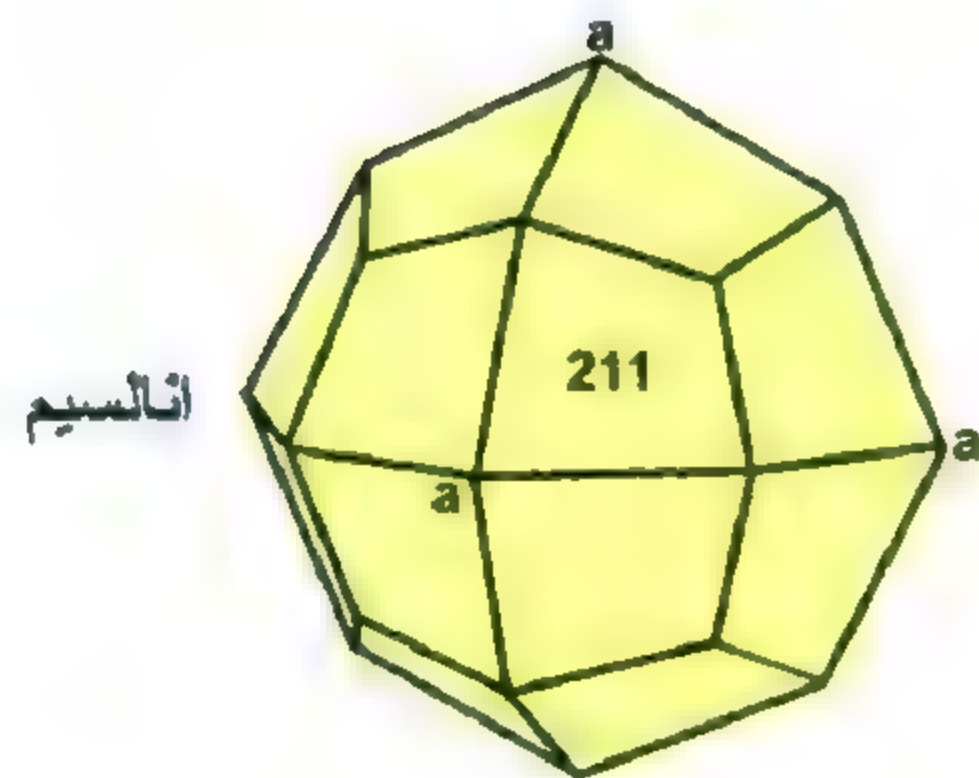
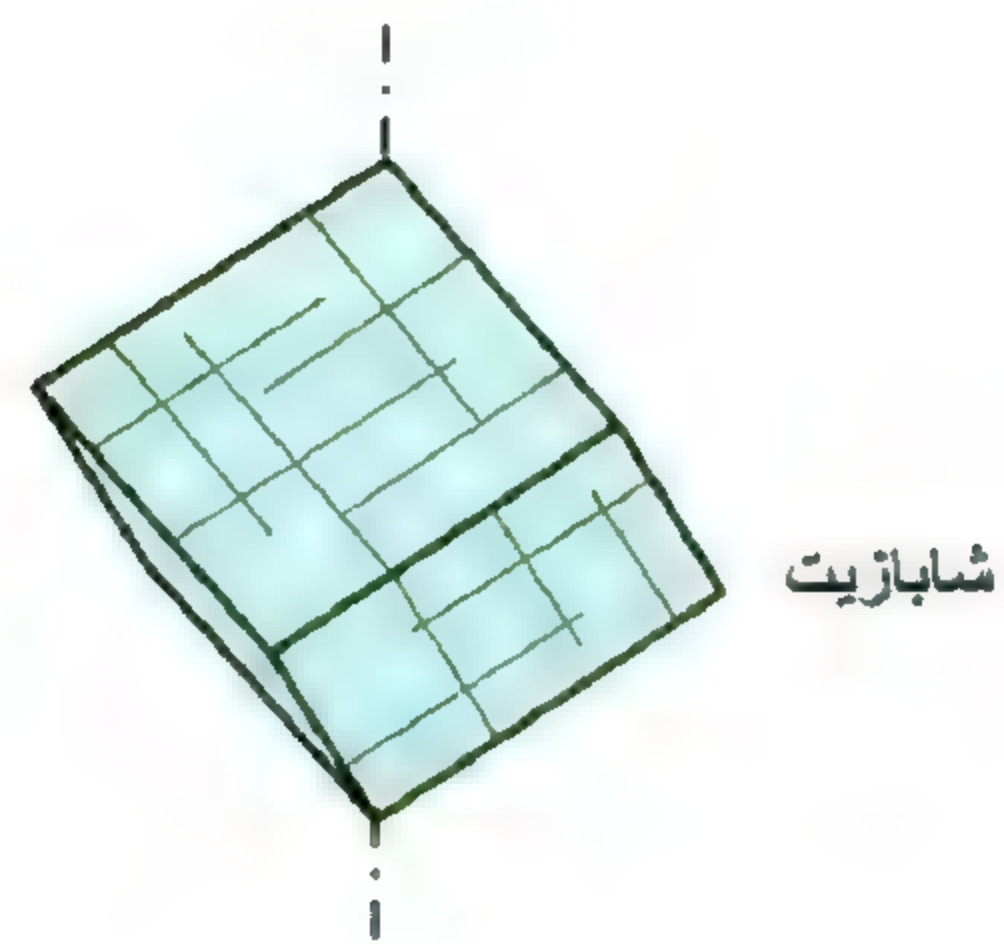
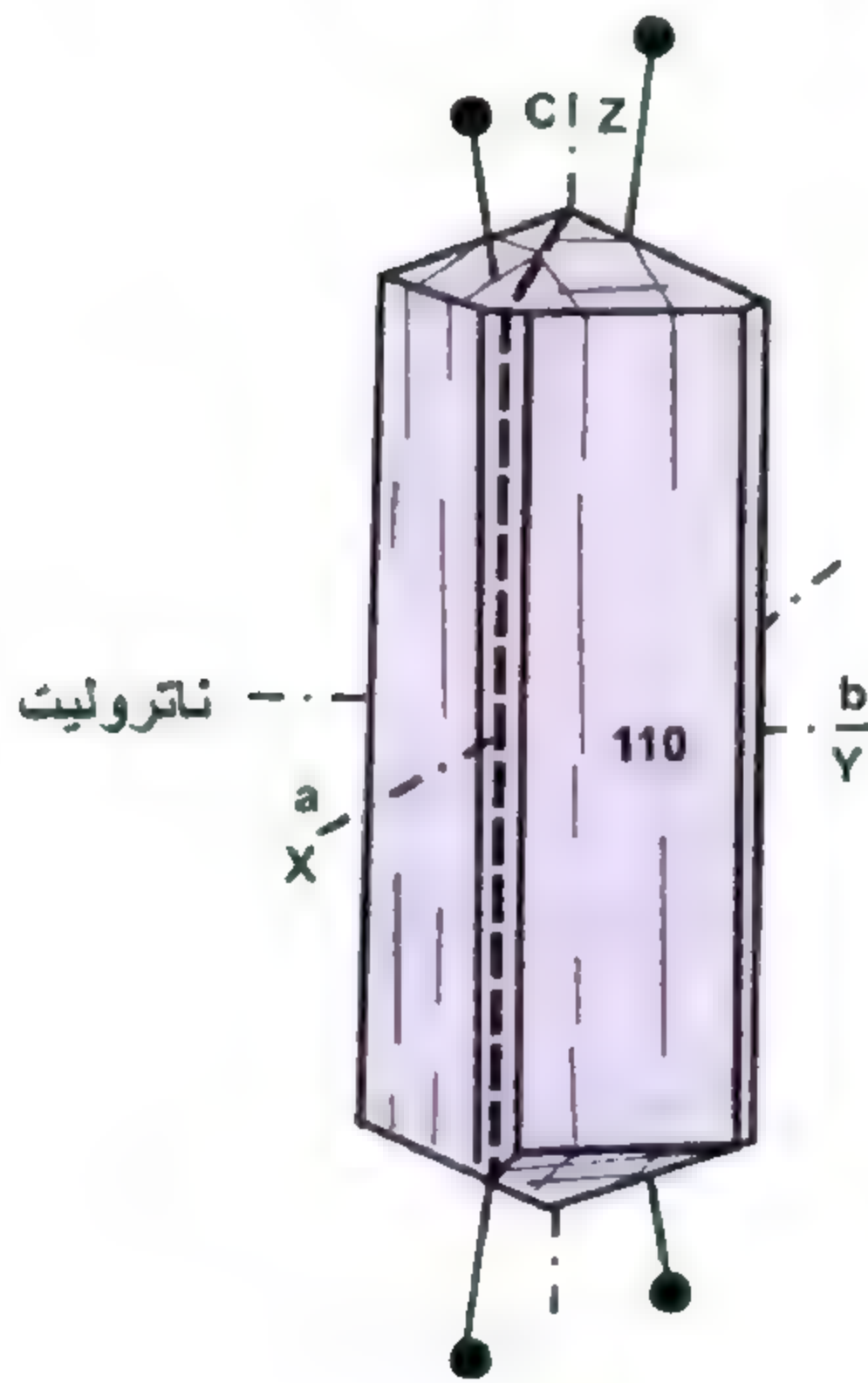
١	٢	٣	
٥٩,٨٠	٦٨,٧٧	٥٧,٢١	SiO ₂
١٦,٥٢	١٢,٦٧	١٦,٢٠	Al ₂ O ₃
٧,٢١	٦,٠٨	٨,٢٠	CaO
١,٤٥	١,٣١	١,٥٩	Na ₂ O
١,١٩	١,٦٦	١,٠٠	K ₂ O
٨٥,١٧	٨٨,٤٩	٨٢,٢٠	المجموع
٧٢ ذرة أكسجين			
٢٧,٣٠	٢٩,٦٢	٢٧,٠٢	Si
٨,٨٩	٦,٤٣	٩,٠٢	Al
٣,٥٣	٢,٨١	٤,١٥	Ca
١,٤٠	١,٢٦	١,٥٤	Na
١,٦٩	١,٣٦	١,٠٠	K

١ = هيلانديت، ٢ = كلينوبتيلولايت، ٣ = ستيلبيت

سوف يتم في الفقرات القادمة مناقشة الصفات البلورية والفيزيائية لأكثر الأنواع إنتشاراً.

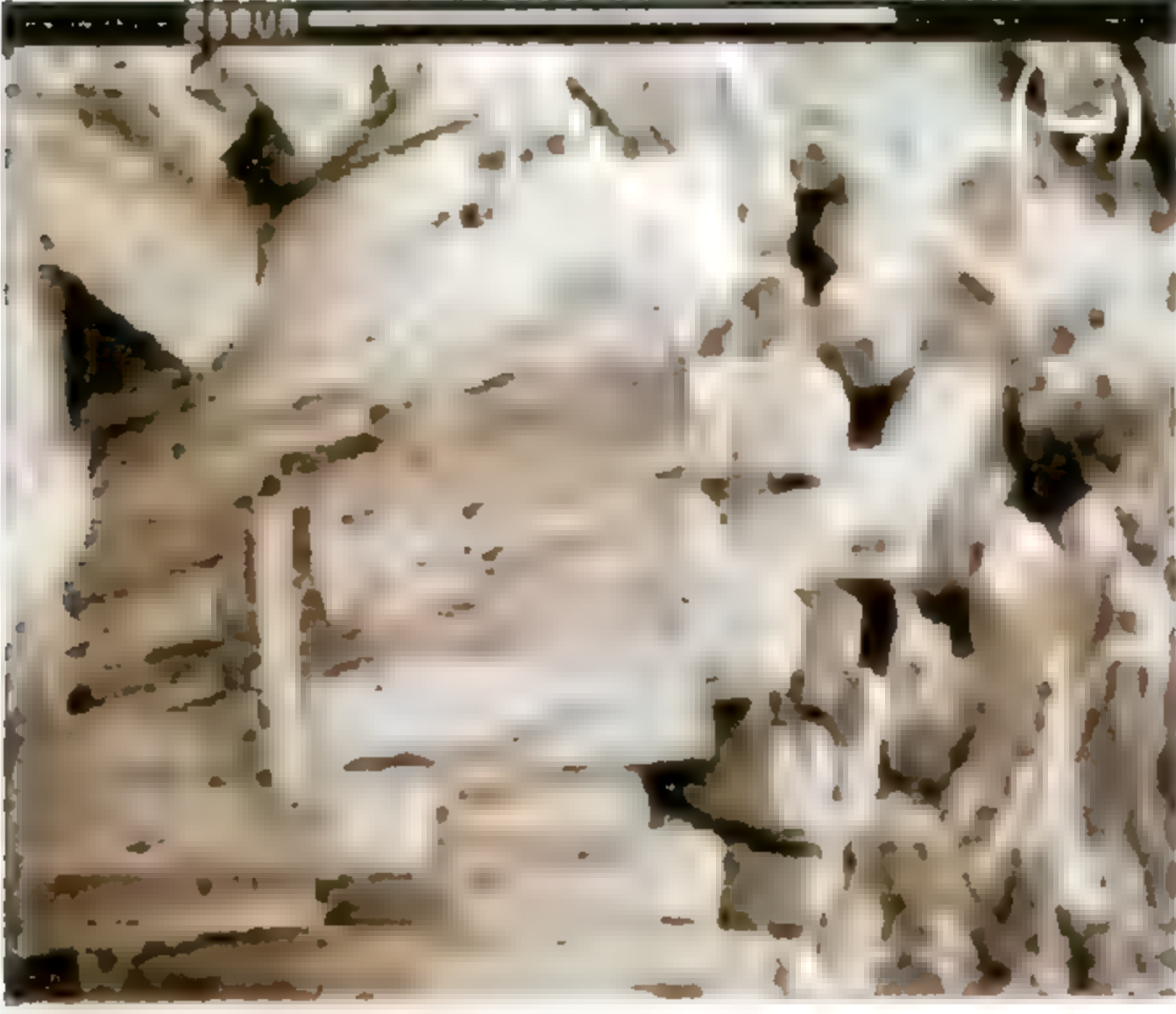
ناتروليت $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

يتبلور المعدن بفصيلة المعيني القائم. تتواجد البلورات على شكل إبري تنتهي بشكل هرمي (شكل ٧-٤٦). كما يوجد على شكل ليفي وعقدي وكتلي.



شكل ٧-٤٦: العلاقة بين المحاور البلورية a, b, c ومحاور مجسم معامل الإنكسار X, Y, Z في بعض بلورات معادن الزيوليت

اللون أبيض (شكل ٧-٤٧) مع بقع صفراء وبنية. البريق زجاجي إلى مطفي في بعض العينات الصماء. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٥-٥,٥ والمكسر محاري. الانفصام كامل في اتجاهين ومنشوري ولكن يصعب رؤية الانفصام لصغر حجم البلورات. الوزن النوعي حوالي ٢,٢.



شكل ٧-٤٧: (أ) بلورات إبرية بيضاء اللون لمعدن الناتروليت. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الإلكتروني لبلورات ليفية للئاتروليت.
(<http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html>)

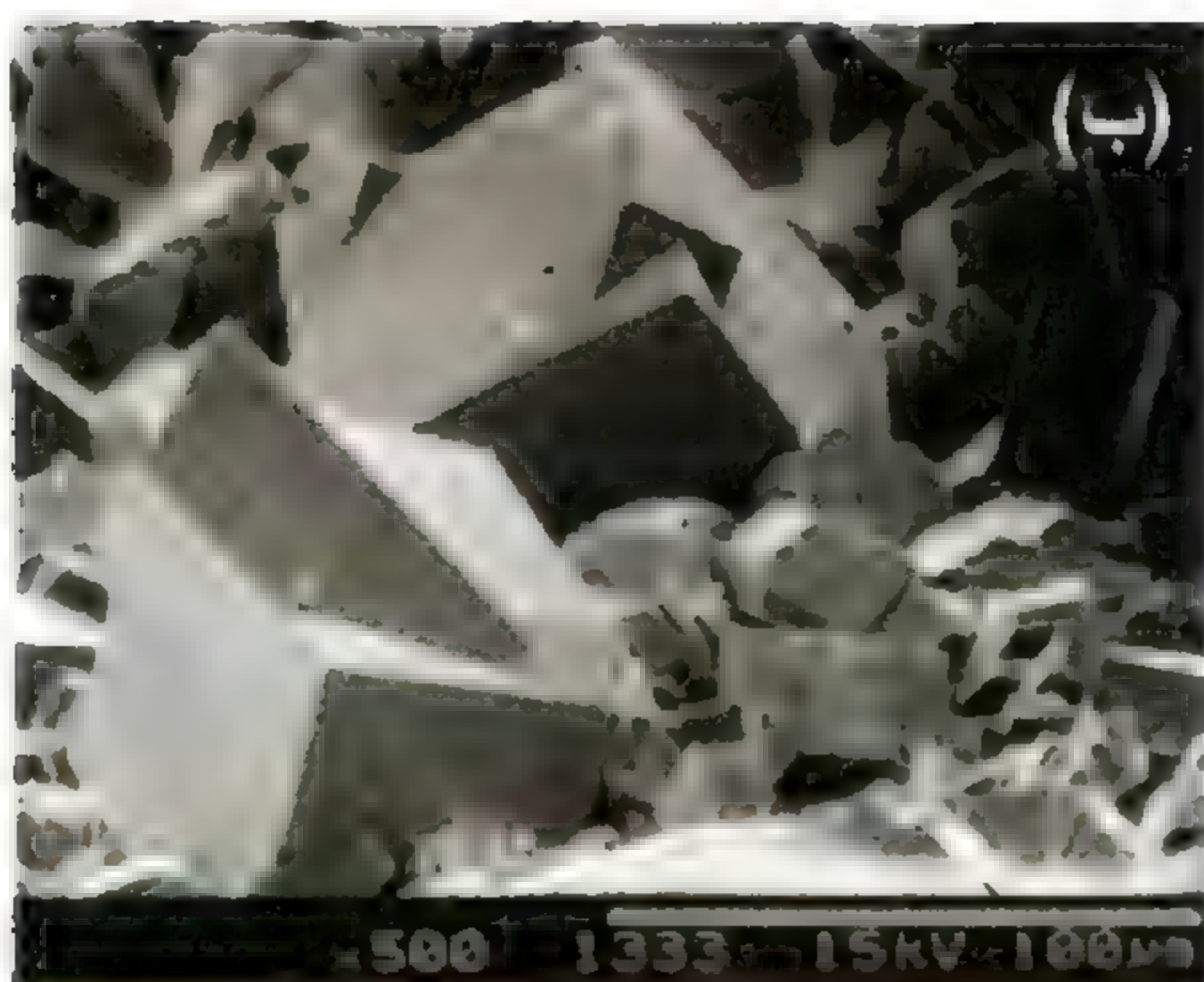
شبابازيت $\text{Chabazite (Ca,Na)}_2 (\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}).6\text{H}_2\text{O}$

يتبلور المعدن بفصيلة الثلاثي (أنظر شكل ٧-٤٦). توجد البلورات على هيئة معيني الأوجه وتبدو وأنها مكعبية (مكعب كاذب) وذلك لأن الزاوية بين الوجهيته تصل إلى ٩٠ درجة. يوجد المعدن أيضاً على شكل كتل حبيبية. يكثر به التوأمية الإختراقية مع الدوران حول المحور البلوري "c". يظهر المعدن بلون أبيض ووردي وأصفر وأحمر وبني (شكل ٧-٤٨). البريق زجاجي. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٤-٥ والانفصام ضعيف في ثلاث اتجاهات وموازي لأوجه معيني الأوجه. المكسر غير مستوي. الوزن النوعي = ٢-٢,٢.

أنالسيم $\text{Analcime Na(AlSi}_2\text{O}_6). \text{H}_2\text{O}$

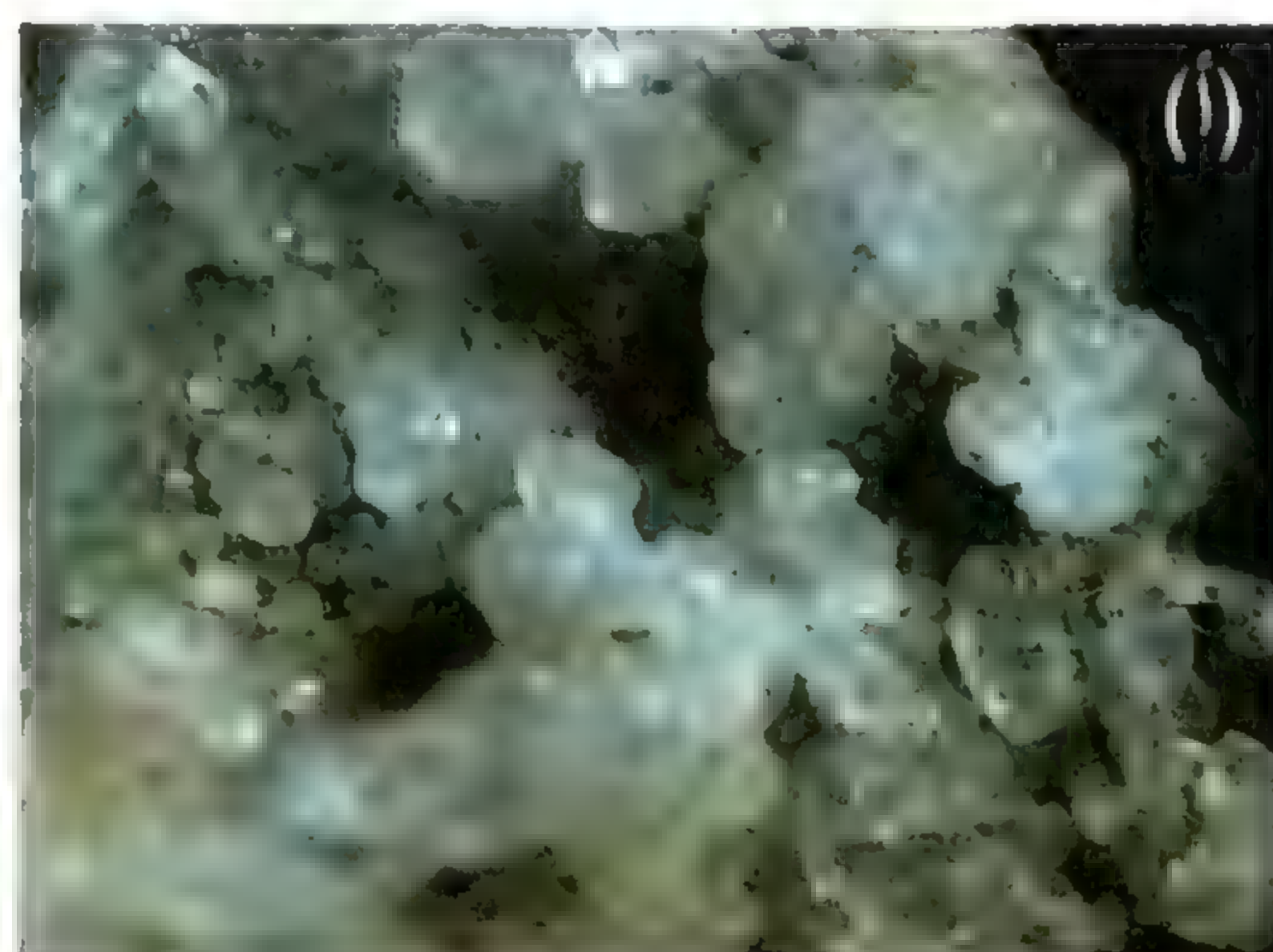
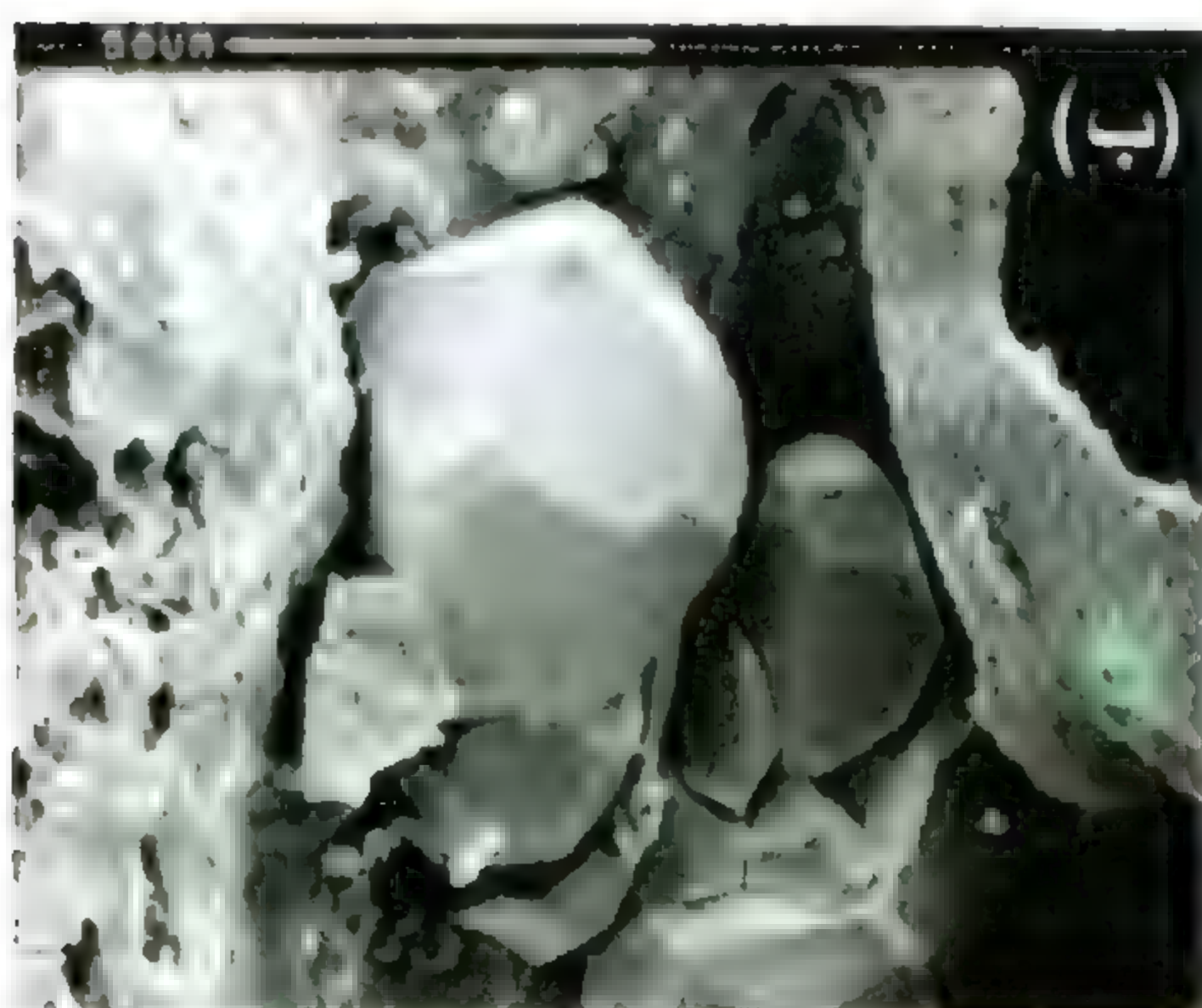
يتبلور المعدن بفصيلة المكعب، نظام سداسي الثماني ويوجد المعدن على شكل بلورات غالباً ما تأخذ شكل الأربعة وعشرون وجهاً شبه منحرف

Trapezohedron (شكل ٧-٤٩)، كما يوجد المعدن أيضاً على شكل كتلى وحبيبي. اللون أبيض أو رمادي مع بقع خضراء وصفراء وحمراء. البريق زجاجي والمخدش أبيض. الصلادة = ٥ - ٥,٥ ولا يوجد انفصام. المكسر غير مستوي. الوزن النوعي حوالي ٣,٢.



شكل ٧-٤٨: (أ) بلورات بيضاء اللون لمعدن الشابازيت. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الإلكتروني لبلورات الشابازيت تظهر توامية إختراقية.

(<http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html>)



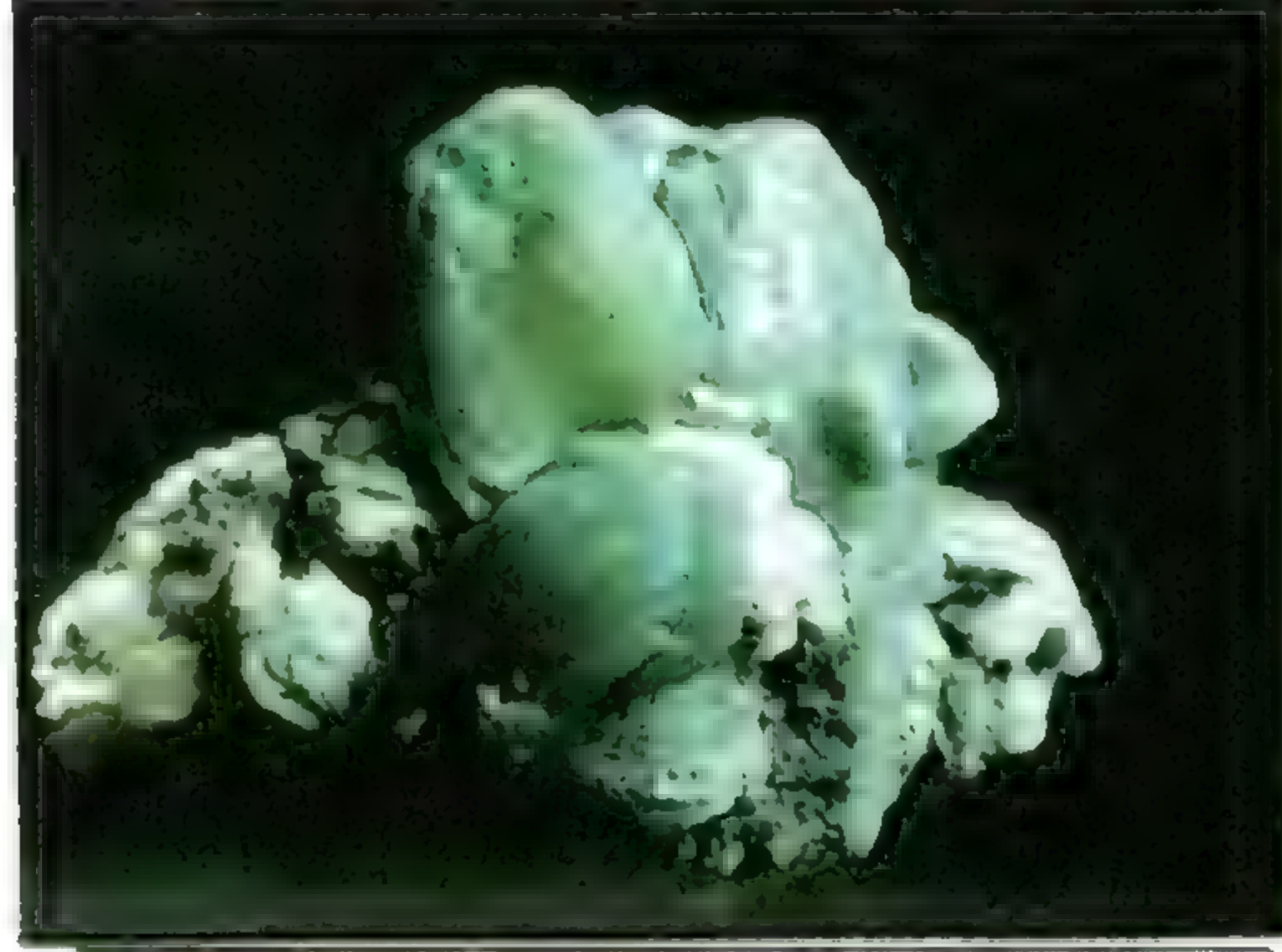
شكل ٧-٤٩: (أ) بلورات بيضاء اللون لمعدن الأناسيم. (ب) صورة بالميكروسكوب الماسح الإلكتروني لبلورات أناسيم تظهر هيئة الأربعة وعشرون وجهاً شبه منحرف.

(<http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html>)

ستيلبيت Stilbite $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد (أنظر شكل ٧-٤٦) وتظهر البلورات على هيئة صفائحية نحيفة أو على هيئة فتات متجمع. اللون وردي

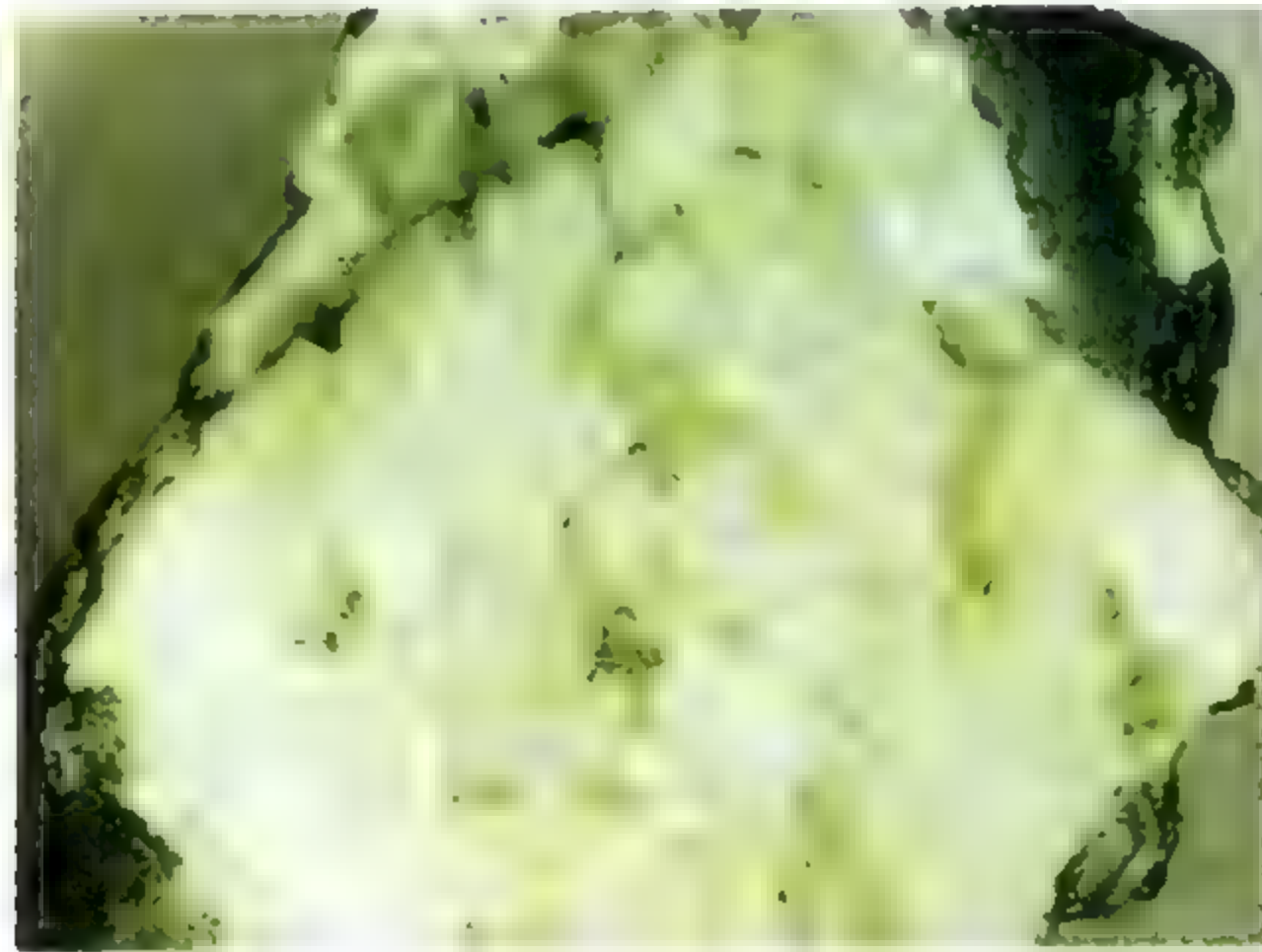
أو أبيض مع تلوين خفيف من اللون الأصفر أو الأحمر ونادراً يتخذ الستيلبيت اللون الأخضر (شكل ٧-٥٠). البريق زجاجي إلى لؤلؤي. المخدش أبيض. البلورات شفافة إلى نصف شفافة. الصلادة = ٣,٥ - ٤ والإنقسام كامل في إتجاه واحد موازى للمسطوح الجانبي. المكسر غير مستوى. الوزن النوعي حوالي ٢,٢.



شكل ٧-٥٠: بلورات خضراء اللون لمعدن الستيلبيت.
(<http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html>)

هيولانديت $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد (أنظر شكل ٧-٤٦) وتتخذ البلورات أشكال صفائحية أو كتلية. المعدن عديم اللون أو أبيض (شكل ٧-٥١) أو رمادي أو أخضر أو وردي أو أصفر أو أحمر أو بني أو أسود. البريق زجاجي إلى لؤلؤي. المخدش أبيض. تتراوح الصلادة بين ٣,٥ و ٤ والإنقسام كامل في إتجاه واحد موازى للمسطوح. المكسر غير مستوى. يتراوح الوزن النوعي بين ٢,١ و ٢,٣.



شكل ٧-٥١: بلورات بيضاء اللون لمعدن الهيولانديت.
(<http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithee.html>)

لاومونتيت $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد وتوجد البلورات على شكل منشوري. المعدن عديم اللون وقد يكون أبيض (شكل ٧-٥٢). مع لون خفيف وردي أو رمادي أو أصفر أو بني. البريق زجاجي إلى مطفي عند تعرضه للضوء. المخدش أبيض. الصلادة = ٣,٥ - ٤. الإنقسام كامل في إتجاهين $\{010\}$ و $\{110\}$ وغير كامل بالإتجاه $\{011\}$. المكسر محاري إلى غير مستوي. الوزن النوعي = ٢,٣.



شكل ٧-٥٢: بلورات منشورية بيضاء اللون لمعدن اللاومونتيت على معدن الأنالسيم.

(<http://www.mineralien-verkauf.de/zeogallery/zeolithe.html>)

التواجدات والصحية المعدنية لمعادن الزيوليت

تنتشر معادن الزيوليت بأماكن عديدة في العالم كمعادن تتكون تحت ظروف درجات الحرارة المنخفضة وقد تتكون ثانوياً، أي أنها تنشأ عن طريق التغيرات Alteration لمعادن أولية. تتواجد معادن الزيوليت كحبيبات دقيقة بفجوات بعض الصخور البركانية مثل البازلت، حيث أنها تترسب من محاليل مائية بعد تبريد الصخور. وتتكون معادن الزيوليت عن طريق:

- تجوية معادن سابقة تحت ظروف عالية من درجة الحمضية.

- تغيرات بعد الترسيب للصخور الرسوبية وخصوصاً الرماد البركاني في البحيرات المالحة أو بعض البيئات البحرية العميقة.
- عمليات تغاير بفعل المياه الجوفية.
- عمليات تغاير بفعل المحاليل الحرمائية.
- التحول التلامسي.
- التحول الإقليمي منخفض الدرجة.

ومن المعادن المصاحبة: بيرهنيت وأبوفيليت وبيكتوليت وكالسيت وبيريت وإبيدوت وكلوريت وتيتانيت وأكتينوليت وكوارتز. ومن أهم أماكن تواجده: النرويج وألمانيا وأيسلندا وإيرلاندا والولايات المتحدة الأمريكية والهند.

الاستخدامات

يستخدم الزيوليت في إمتصاص العديد من المواد مثل الماء والمتبخرات وذلك لما يتمتع به من بنية بلورية بها قنوات تسمح له بإستيعاب مواد خارجية. يستخدم الزيوليت في تبديل الأيونات بالوسط المحيط به Ion exchanger وخصوصاً في معالجة الماء بالتخلص من بعض الكاتيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والماغنسيوم والتي تكوّن راسب رمادي مع الصابون. كما يستخدم الزيوليت كمادة محفزة حامضية Acid catalysis أو كمادة محفزة مؤكسدة Oxidation catalysis. ومن أهم التطبيقات الصناعية التي يستخدم فيها الزيوليت: تنقية البترول وإنتاج الوقود وصناعة البتروكيماويات.

المراجع References

١- مراجع عربية

- عصام الفيلاي، حمدي عبد النبي، يحيى داود، على عثمان (٢٠٠٧) علم المعادن: مقدمة في علم المعادن. مكتبة الأنجلو المصرية. القاهرة. ٣٥٨ صفحة.
- عصام بن يحيى الفيلاي (٢٠٠٥) مقدمة في الصخور المتحولة. مكتبة الأنجلو المصرية. القاهرة. ٣٤٨ صفحة.
- المساحة الجيولوجية المصرية (١٩٩٥) إنجازات المساحة الجيولوجية في ١٩٩٤-١٩٩٥.
- محمد سرى، حامد البدرى، محمد المغربى (٢٠٠٤) الإنتفاع المأمول لخامات الحراريات المصرية. ندوة الثروة والتنمية في مصر، جامعة الأزهر-الجمعية المصرية لخدمات التعدين. القاهرة. ديسمبر.
- محمد عز الدين حلمي (١٩٩١) علم المعادن. مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ٤٦٨ صفحة.
- وفاء وليم غبريال (٢٠٠٤) خامات الحراريات والسيراميك. ندوة الثروة والتنمية في مصر، جامعة الأزهر- الجمعية المصرية لخدمات التعدين. القاهرة. ديسمبر.

٢- مراجع أجنبية

- Abd El-Naby H., Frisch W., Hegner E. (2000) Evolution of the Wadi Haimur Pan-African metamorphic sole, Eastern Desert, Egypt. *Journal of Metamorphic Geology*, 18, 639-651.
- Abd El-Naby H., Frisch W. (2002) Origin of the Wadi Haimur–Abu Swayel Gneiss belt, South Eastern Desert, Egypt: Petrological and geochronological constraints. *Precambrian Research*, 113, 307-322.
- Abd El-Naby H., Dawood Y.H. (In preparation) Mineral chemistry of zircon from the beach sediments of the Nile Delta.

- Abdalla, H.M., Mohamed F.H. (1999) Mineralogical and geochemical investigation of emerald and beryl mineralization, Pan-African Belt of Egypt: Genetic and exploration aspects. *Journal of African Earth Sciences*, 28, 3, 581-598.
- Aglietti, E.F. (1994) The effect of dry grinding on the structure of talc. *Appl. Clay Sci.*, 9, 139-147.
- Ahmed, Z., Hariri, M.M. (2006) Formation and mineral chemistry of a calcic skarn from Al-Madhiq, SW Saudi Arabia. *Chemie der Erde* 66, 187-201.
- Al Filali I.Y., Abd El-Naby H.H. (2003) Pt-evolution of the pan-african gneisses from Wadi Jithwah of the Arabian Shield, Saudi Arabia: Implications to crustal evolution. Fifth International Conference on the Geology of the Middle East, Cairo, Egypt. 219-232
- Al Filali, I.Y. (2004) Metamorphic evolution of the Khamis Mushayt area, Arabian Shield. *Annals Geol. Surv. Egypt.*, 26, 131-151.
- Al-Adly, R.A., Al-Wakeel M.I. (1998). The role of an Egyptian as a filler in the production of lubricating calcium grease. *Bull. of Faculty of Education. Ain Shams University, Egypt.*, 23, 35-44.
- Al-Wakeel, M.I., Haron, Y., Yehiya, A. In press. Processing of an Egyptian bentonite ore for industrial applications.
- Andreozzi, G. B., Ottolini, L., Lucchesi, Ss., Graziani, G., Russo, U. (2000) Crystal chemistry of the axinite-group minerals: A multi-analytical approach. *American Mineralogist*, 85, 698-706.
- Armbruster, T. (1985a) Ar, N₂, and CO₂ in the structural cavities of cordierite, an Optical and X-ray single-crystal study. *Physics and Chemistry of Minerals*, 12, 233-245.
- Armbruster, T. (1985b) Crystal structure refinement, Si,Al-ordering, and twinning in "pseudo-hexagonal" Mg-cordierite. *Neues Jahrbuch Mineralogie Monatshefte*, 255-267.
- Armbruster, T. (1986) Role of Na in the structure of low-cordierite: A Single-crystal X-ray study. *American Mineralogist*, 71, 746-757.

- Asiedu, D.K, Suzukib, S., Shibatab, T. (2000) Provenance of sandstones from the Lower Cretaceous Sasayama Group, Inner Zone of Southwest Japan. *Sedimentary Geology*, 131, 9–24.
- Aurisicchio, C, Fioravanti, G., Grubessi, O., Zanazzi, P.F. (1988) Reappraisal of the crystal chemistry of beryl. *American Mineralogist*, 73, 826-837.
- Bailey, S.W. (1991a) Hydrous phyllosilicates: Introduction. Vol. 19 of *Reviews in mineralogy*. Ed. S.W Bailey, 1-8. Mineral. Soc. Amer., Washington, D.C.
- Bailey, S.W. (1991b) Micas: Vol. 13 of *Reviews in mineralogy*. Ed. S.W Bailey, 1-8. Mineral. Soc. Amer., Washington, D.C.
- Bannister, F.A., Whittard, W.F. (1945) A magnesian chamosite from the Wenlock Limestone of Wickwar, Gloucestershire: *Mineral. Mag.* 27, 99-111.
- Bariand, P., Poullin, J.F. (1978) The pegmatites of Lag man, Nuristan, Afghanistan. *Mineralogical Record*, 9, 301-308.
- Beiersdorfer, R.E., Day, H.W. (1995) Mineral paragenesis of pumpellyite in low-grade mafic rocks Schiffman, P., Day, H.W. (Eds.), *Low-grade metamorphism of mafic rocks*. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 296, 5–27.
- Benbow, R.J., DeJong, B.H., Adams, J.W. (1985) Mica: In Vol. A16 of *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, 551-562, Weinheim: VCH Publ.
- Berggren, T. (1941) Minerals of Varuträsk pegmatite. XXV. Some new analyses of lithium-bearing mica minerals. *Geol. För. Förh.*, 68, P.262.
- Bernal, J. D., Megaw, H. D. (1935) *Proc. Royal Soc.* 151A, 384.
- Beus, A.A. (1960) *Geochemistry of beryllium. Genetic types of beryl deposits*. Izdanie Akademii Nauk SSSR, Moscow.
- Beutelspacher, H., Van Der Marel, H. W. (1968) *Atlas of electron microscopy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier, 333 s.
- Bilgrami, S.A.(1956) *Min. Mag.*, 31, P.236

- Bird, D.K., Spieler, A.R. (2004) Epidote in geothermal System. In Epidotes (Liebscher A. and Frantz G., Eds.) 628 p., Reviews in Mineralogy, 56, Mineralogical Society of America, Washington Dc, 235-300.
- Bish, D. (1993) www.galleries.com..
- Bloodaxe, E.S., Hughes, J.M., Dyar, M. Darby, Grew, E.S., Guidotti, C.V.(1999) Linking structure and chemistry in the schorl-dravite series. Amer. Mineral., 84, 922 – 928.
- Boyd, F.R., (1959) in Researches in Geochemistry, Wiley, New York.
- Boyd, F.R. (1954) Carnegie Inst., Washington, Ann, Rep. Dir. Geophys. Lab., 1953-54, p. 109.
- Brag, W.L. (1937) Atomic structure of Minerals, Cornell Univ. Press.
- Breiter, K., Förster, H-J., Škoda, R. (2005) Chemistry of P-, U-, Nb-, Bi-, Sc-, and F-rich zircon from peraluminous granites: the Podlesí granite system, Czech Republic. Geophysical Research Abstracts, 7, 03481.
- Brindley, (1951) In An introduction to the rock forming minerals. Ed. W. A. Deer, R.A. Howie, J. Zussman. 1978.
- Brindley, G.W., Zussman, J. (1957) A structural study of the thermal transformation of serpentine minerals to forsterite. Amer. Min., 42, P. 461.
- Brooks, C.K., Henderson, P., Rønsbo, J.G. (1981) Rare-earth partition between allanite and glass in the obsidian of Sandy Braes, Northern Ireland. Mineral. Mag., 44, 157– 160.
- Brown, N.L., Shairer, J.F. (1932), Amer. J. Sci. 5th Ser., 24, 177-213.
- Burger, J. (1991) Talc- USA and Europe competitive markets. Ind. Minerals (January):17-27.
- Burri, C., Parker, R.L., Wenk, E. (1967) Die Optische orientierung der plagioclase. Brikhauser Verlag, basel, 333p.
- Byström, A. (1942) The crystal structure of cordierite. Arkiv för kemi, Mineralogi Och Geologi, 15B, 12, 1–7.

- Cerný, P. (1991 a) Rare-element granitic pegmatites, Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite Deposits. *Geosci. Can. (Ore Deposit Models series)*, 18, 49-67.
- Cesare, B., Gómez-Pugnaire, M.T., Sánchez-Navas, A., Grobety, B. (2002). Andalusite-sillimanite replacement (Mazarrón, SE Spain): A microstructural and TEM study. *American Mineralogist*, 87, 433-444.
- Challis, A., Grapes, R., Palmer, K. (1995) Chromian muscovite, uvarovite, and zincian chromite: products of regional metasomatism in Northwest Nelson, New Zealand. *Canadian Mineralogist*, 33, 1263-1284.
- Champness, P.E., Cliff G., Lorimer, G.W. (1976) the identification of asbestos. *Journal of Microscopy*, 108, 231-249.
- Chang, L.L.Y. (2002) *Industrial mineralogy: Materials, processes, and uses*. Prentice-Hall, New Jersey. 472p.
- Chapman, G.P. (1984) The world mica-grinding industry and its markets. *Proc. 4th Ind. Minerals intern. Congr*, Toronto, 197-203.
- Chapman, G. P. (1983) Mica. In *Industrial minerals and rocks*. 5th ed. Ed. S.J. Lefond, 915-929, New York: Soc. Mining Engineers, AIME.
- Churg, A. (1993) Asbestos lung burden and disease patterns in man. In *Health Effects of Mineral Dusts*. Eds. G.D. Guthrie , Jr., B.T. Mossman. *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, 28, 410-424
- Cohen, J.P., Ross, F.K., Gibbs, G.V. (1977) An X-ray and neutron Diffraction study of hydrous low cordierite. *Am.Min.*, 62, 67-78.
- Coombs, D.S., Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., Grice, J.D., Liebau, F., Mandarino, J.A., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross, M., Sheppard, R.A., Tillmanns, E., Vezzalini, G. (1997): Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the subcommittee on zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names.

- Can. Mineral., 35, 1571-1606 (also published (1998): Miner. Mag., 62, 533-571).
- Cornish, B.E. 1983. Pyrophyllite: In Industrial Minerals and Rocks. 5th ed. Ed. S.J. Lefond, 1085-1108. New York: Soc. Mining Engineers, AIME.
- Dana, J.D, Dana, E.S. (1997) Dana's new mineralogy, The system of mineralogy. John Wily & Sons, New York, USA, 1819 p.
- Dana, S.D. (1951) A textbook of mineralogy with an extended treatise on crystallography and physical mineralogy. V. IV, John Wiley & Sons, New York, USA, 851p.
- Day, J.D., Taylor, L.A., Floss, C., Mcswen, H. (2006), Petrology and chemistry of MIL 03346 and its significance in understanding the petrogenesis of nakhlites on Mars, Meteoritics & Planetary Science 41, Nr 4, 581-606.
- De Lapparent, J. (1937) Origin of bentonite from North Africa. C.R. Soc. Geol. Fr. No. 10, 126-128.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1963) Rock Forming Minerals, Volume 2: Chain Silicates. Longman, London, 379p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussmann, J. (1966) An Introduction to the rock forming minerals. Longman, Hong Kong, 528 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1978) Rock forming Minerals, Volume 2A: Single Chain Silicates. John Wiley & Sons, New York, 668 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussmann, J. (1986) Axinite. In Rock-forming minerals. Disilicates and ring silicates, II ed., Longmans, Green and Co., London, 629 p.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1989) An introduction to rock forming minerals. Sixteenth edition. Longman, Hong Kong.
- Deer, W.A., Howie R. A., Zussman J. (1992) An introduction to the rock forming minerals. Essex: Longman. England. 696p.

- Dickson, E.M. Ed. (1986) Pyrophyllite: Asia and America Lead, in Raw Materials for The Refractories Industry, 131-143, Industrial Minerals, London.
- Dirlam, D.M., Laurs, B.M. Pezzotta, F., Simmons, W.B. (2002) liddicoatite tourmaline from Anjanabonoina, Madagascar. *Gems & Gemology*, 38, 1, 28-53.
- Dixon, J.B. (1977) Kaolinite and serpentine group minerals, In Minerals in Soil Environments, J.B. Dixon and S.B. Weed eds. Soil Science Soc. Of Amer., Madison, Wisconsin. 367-403.
- Dona M.D., Brendan M. L., Federico P., William B.S. (2002) Liddicoatite tourmaline from anjanabonoina, madagascar. *Gems & gemology*, 38, 1, 28-53.
- Donnay, G., Barton, R. (1972) Refinement of the crystal structure of elbaite and the mechanism of tourmaline solid solution. *Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 18, 273-286.
- Douillet, P., Nicolas, J. (1969) Les minéraux du kaolin-historique-reflexions concernant les diverses classifications et nomenclatures-proposition d'une nomenclature nouvelle. *Bull. Soc. Fr. Ceram.* 83, 87-114.
- Droop, G.T.R., Al-Filali, I.Y. (1989) Magmatism, deformation and high-T, low-P regional metamorphism in the Nabitah mobile belt, southern Arabian Shield. In: Daly, J.S., Cliff, R.A., Yardley, B.W.D. (eds), *Evolution of Metamorphic belts*, Geological Society Special Publication No. 43, 469-480.
- Droop, G.T.R., Al-Filali, I.Y. (1996) Interaction of aqueous fluids with calcareous metasediments during high-T, low-P regional metamorphism in the Qadda area, southern Arabian Shield. *J. Metamorphic Geol.*, 14, 613-634.
- Du Rietz, T. (1935) *Geol. För. Föhr.*, 57, p. 133
- Dubey, C., S., Catlos, E.J., Sharma, B.K. (2005) Modeling of P-T-t paths constrained by mineral chemistry and monazite dating of metapelites in relationship to MCT activity in Sikkim, Eastern

- Himalayas. In: metamorphism and crustal evolution (eds. H. Thomas). Atlantic pub., 253-284.
- Duncan, J.F., Johnston, J.H. (1974) Single-crystal ^{57}Fe Mössbauer studies of the Site positions in cordierite. *Australian Journal of Chemistry*, 27, 249-258.
- Dutrow, B.L., Foster, C.T., Jr., Henry, D.J. (1999) Tourmaline-Rich pseudomorphs in sillimanite zone Metapelites: Demarcation of an infiltration front. *American Mineralogist*, 84, 794-805.
- Dyar, M.D., Francis, C.A., Wise, M.A., Guidotti, C.V., McGuire, A.V., Robertson, J.D. (1994) Complete chemical characterization of tourmaline. *Eos, Transactions of the American Geophysical Union*, 187.
- Dyar, M.D., Taylor, M.E., Lutz, T.M., Francis, C.A., Guidotti, C.V., Wise, M. (1998) Inclusive chemical characterization of tourmaline: Mössbauer study of Fe valence and site occupancy. *American Mineralogist*, 83, 848-864.
- El Shazly, E.M., Saleeb Roufaiel G.S., and El-Ramly M F. and Rassmy A.R. (1975a) Mineralogical study of corundum, zirconian hercynite and andalusite from pegmatites of Hafafit, Egypt. *Egypt. J. Geol.*, 19, 2, 153-168.
- El Shazly, E.M., Saleeb, G.S.R., El-Ramly, M.F., Rassmy, A.R. (1975b) Mineralogical study of anthophyllite, phlogopite and vermiculite from Hafafit, Egypt. *Egypt. J. Geol.*, 19, 2, 105-124.
- El-Gharbawi, R.I. (1989) Petrological and petrochemical studies of igneous and metamorphic rocks of Gabal Mudargag area, South Eastern Desert, Egypt. Ph.D. Thesis, Geology Department, Ain-Shams University.
- Ertl, A., Hughes, J.M., Rowatke, S.P., Rossman, G. R., London, D., Fritz, E.A. (2003) Mn-rich tourmaline from Austria: structure, chemistry, optical spectra, and relations to synthetic solid solutions. *American Mineralogist*, 88, 1369-1376.
- Evans, B.W., Guggenheim S. (1991) Talc; pyrophyllite and related minerals. In Vol 19 of *Reviews in mineralogy*. Ed. S.W Bailey., 225-294. Washington, D.C.: Mineral. Soc. Amer.

- Evans, H.T., Jr., Mrose, M.E. (1968) Crystal chemical studies of Cesium beryl. Geological Society of America Special Paper 101, Abstracts For 1966, 63.
- Evensen, J.M.D., London, J.J.M., Wendlandt, R.F. (1999) Solubility and stability of beryl in granitic melts. *American Mineralogist*, 84, 733–745.
- Exeley, R.A. (1980) Microprobe studies on REE-rich accessory minerals; implications for Skye granite petrogenesis and REE mobility in hydrothermal systems. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 48, 97–110.
- Federico, M., Andreozzi, G.B., Lucchesi, S., Graziani, G., Cesar-Mendes, J. (1998) Compositional variation of tourmaline in the granitic pegmatite dykes Of the Cruzeiro mine, Minas Gerais, Brazil. *Canadian Mineralogist*, 36, 415–431
- Fleischer, M., Mandarino, J.A. (1995) Glossary of Mineral Species. *Mineralogical Record*, Tucson, Arizona, 280 p.
- Foit, F.F., Jr., Rosenberg, P.E. (1979) The structure of vanadium-bearing tourmaline and its implications regarding tourmaline solid solutions. *American Mineralogist*, 64, 788–798.
- Frantz, G., Liebscher, A. (2004) physical and chemical properties of epidote minerals-An Introduction-.In *Epidotes* (liebscher A and Frantz G., Eds.) 628 pp., *Reviews in Mineralogy*, 56, Mineralogical Society of America, Washington Dc, 1-82.
- Franz, G., Grundmann, G., Ackermann, D. (1986) Rock forming Beryl from a regional metamorphic terrain (Tauern window, Austria): Parageneses and crystal chemistry. *TMPM Tschermaks Mineralogische Und Petrographische Mitteilungen*, 35, 167-192.
- Frey, R., Yovanovich B., Burghelle, J. (1962) Composition and probable genesis of some decolorizing clays of North Africa. *Serv. Min. and Carte Geol. Morocco*, Mem. No.38, 65p.
- Fujii, N. (1983) The present position of Japanese pyrophyllite. *Ind. Minerals* (November), 21-27.

- Gad, G. E., Talaat A. (1969) Suitability of the egyptian zircon and monazite sands for refractory and electric-insulator-industry. 6th Arab Science Congress, Damascus, November, part 4B , 768-796.
- Game P.M. (1954) Min. Mag., 30, P.458.
- Garba, I. (1996) Tourmalinization related to Late Proterozoic-Early Paleozoic lode gold mineralization in the Bin Yauri area, Nigeria. Mineralium Deposita 31, 201-209.
- Geiger, C. A., Armbruster, T., Khomenko, V., Quartieri, S. (2000) Cordierite I: The coordination of Fe^{2+} . American Mineralogist, 85, 1255-1264.
- Giese, R.F. (1975) Interlayer bonding in talc and pyrophyllite Clays and Clay Minerals, 23, 165-166.
- Genth, F.A., Penfield, S.L., Pirsson, V.V. (1891) On three new varieties of axinite; (a) Axinite from Franklin, New Jersey. American Journal of Science, 3rd Series, 41, 394-400.
- Geological Survey of Egypt. (1984) Potential mineral resources of Egypt. 144p.
- Gibbs, G.V. (1966) The polymorphism of cordierite I: The crystal structure of low Cordierite. American Mineralogist, 51, 1068-1087.
- Gibbs, G.V., Breck, D.W., Meagher, E.P. (1968) Structural Refinement of hydrous and anhydrous synthetic beryl $Al_2(Be_3Si_6)O_{18}$ and emerald, $Al_{1.9}Cr_{0.1}(Be_3Si_6)O_{18}$. Lithos, 1,275-285.
- Goldman D.S., Rossman G.R., Dollase W.A. (1977) Channel constituents in Cordierite. American Mineralogist, 62, 1144-1157.
- Goldman, D.S., Rossman, G.R., Parkin, K.M. (1978) Channel constituents In beryl. Physics and Chemistry of Minerals, 3, 225-235.
- Gourdant, J. P., Robert, J. L. (1997) The Mg-Ni substitution in synthetic tourmalines: crystal-chemical considerations in the system $Na_2O-MgO-NiO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2-H_2O$. Tourmaline Abstracts, 32-33.

- Griffin, D.T. (1992) Silicate crystal chemistry. Oxford University Press, New York, 442p.
- Griffin, W.L., Slack, J.F., Ramsden, A.R., Win, T.T., Ryan, C.G. (1996) Trace elements in tourmalines from massive sulfide deposits and tourmalinites: Geochemical controls and exploration applications. *Economic Geology*, 91, 657–675.
- Grim, R.E. (1968) Clay Mineralogy. McGraw Hill, New York. 598p.
- Grunwald, S. (2002) Secondary Silicates. Soil and Water Sciences. University of Florida.
- Gubelin, E.G. (1982) Gemstones of Pakistan: Emerald, ruby and spinel. *Gems & Gemology*, 18, 140-153.
- Guidotti, C.V., Yates, M.G., Grew, E.S., Dyar, M.D., Wiedenbeck, M., Fowler, G. (1997) Stoichiometry of natural tourmaline from western Maine. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 29(6), A-401.
- Halferdahl, L.B.(1961) Chloritoid: its composition, X- ray and optical properties. Stability and occurrence. *J. Petr.*, 2, p.49.
- Harraz, H.Z., El-Sharkawy, M.F. (2001) Origin of tourmaline in the metamorphosed Sikait pelitic belt, south Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 33, 2, 391-416.
- Hawthorne, F.C. (1996) Structural mechanisms for light-element variations in tourmaline. *Canadian Mineralogist*, 34, 123–132.
- Hawthorne, F.C., Henry, D.J. (1999) Classification of the minerals of the tourmaline Group. *European Journal of Mineralogy*, 11, 201–215.
- Hawthorne, F.C., McDonald, D.J., Burns, P.C. (1993) Reassignment of cation site occupancies in tourmaline: Al-Mg disorder in the crystal structure of dravite. *American Mineralogist*, 78, 265–270.
- Hedrick, G.B. (1995) Mica USBM. Annual Review. 12p. Rudolph, S. 2004. Layered Structures: Clays and Lubricants.

- Helmy, H.M., Mogessie, A. (2001) Gabbro Akarem, Eastern Desert, Egypt: Cu-Ni-PGE mineralization in a concentrically zoned mafic-ultramafic complex. *Mineralium Deposita*, 36, 58-71.
- Helmy, H.M., Ahmed, A.F., El Mahallawi, M.M., Ali, S.M. (2004) Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implications. *Journal of African Earth Sciences* 38, 255-268
- Henry, D.J., Dutrow, B.L. (1996) Metamorphic tourmaline and its petrologic Applications. *Reviews of Mineralogy*, 32, 503-558.
- Henry, D.J., Guidotti, C.V. (1985) Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist*, 70, 1-15.
- Henry, D.J., Kirkland, B.L., and Kirkland, D.W. (1999) Sector-zoned tourmaline from cap rock of a salt dome. *European Journal of Mineralogy*, 11, 217-225.
- Hermann, J. (2002) Allanite: thorium and light rare earth element carrier in subducted crust. *Chemical Geology*, 192, 289-306.
- Hess, H.H., Smith, R. J. and Dengo, G. (1952) Antigorite from the vicinity of Caracas, Venezuela. *Amer. Min.*, v. 37, P.68.
- Hey, M.H. (1954) A new review of the chlorites. *Min. Mag.*, 30, 277p.
- Hochella, M., Brown, G., Ross, F., and Gibbs, G. (1979) High temperature crystal Chemistry of hydrous Mg- and Fe-cordierites. *American Mineralogist*, 64, 337-351
- Holyl, M.S. (1980) Geochemical studies on granites from the Eastern Desert, Egypt. M.Sc. Thesis, Faculty of Science, Al Azhar University.
- Hussein, S.A., Al-Wakeel, M.I., Khazbk, A.S. (1997) Geochemistry and beneficiation of Egyptian talc-carbonate rocks. 3rd geochemistry Conf. Sept., Alexandria, Egypt, V. I, 287-315.
- Hutton, C.O. (1947) Contributions to the mineralogy of New Zealand. Part 3. *Trans. Roy. Soc. New Zealand*, 76, P.481.

- Hutton, C.O., Seelye, F.T. (1941) Composition and properties of some New Zealand glauconites. *Amir. Min.*, 26, P.593.
- Iiyama, T. (1960) Recherches sur le role de l'eau dans la structure et la polymorphisme de la cordierite. *Bull. Soc. Fr. Mineral.*, 83, 155-178.
- Jiang, S., Palmer, M.R., Yeats, C. J. (2002) Chemical and boron isotopic compositions of tourmaline from the Archean Big Bell and Mount Gibson gold deposits, Murchison Province, Yilgarn Craton, Western Australia. *Chemical Geology*, 188, 229– 247.
- Jiang, S., Palmer, M.R., Slack, J.F. (1997) Alkali-deficient tourmaline from the Sullivan Pb–Zn–Ag Deposit, British Columbia. *Mineral. Mag.*, 61, 853-860.
- Johnston, R.W. (1949) *Min. Mag.*, 28, P. 505.
- Keegan N. (1997) Minerals in paper: The weighting game. *Ind. Minerals*, 61-79.
- Keller, P. (1981) Emeralds of Colombia. *Gems & Gemology*, 17, 80-92.
- Kerr, P. F., Hamilton, P.K., Pill, R. J. (1950) Analytical data on reference clay materials. Prelim. Report No. 7. Reference clay minerals. Amer. Petroleum Inst., Res. Proj. 49, Columbia Univ., New York, P.38.
- Klein, C. (1964) Cummingtonite-grunerite series: A chemical, optical and X-ray study. *American Mineralogist*, 49, 963-982.
- Klein, C. (1993) Rocks, Minerals, and a dust world.: In *Health Effects of Mineral Dusts*. Eds. G.D. Guthrie , Jr., B.T. Mossman. *Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America*, 28, 7-60.
- Klein, C., Hurlbut Jr. C. (1993) *Manual of Mineralogy* (after J.D. Dana, revised 21st edition.). N.Y. John Wiley and Sons. 681p.
- Kojima, G. (1944) On stilpnomelane in greenschists in Japan. *Proc. Imperial Acad. Tokyo*, 20, 322-328.
- Kostov, I. (1968) *Mineralogy*. 1st English edition, Oliver and Boyd LTD, London. 587 p.

- Kristóf, É., Juhász, A.Z., Vasányi, I. (1993) The effect of mechanical treatment on the crystal structure and thermal behavior of kaolinite. *Clays and Clay Minerals*, 41, 608-612.
- Kunasz, I.A. (1994) Lithium resources. In *Industrial minerals and rocks* 6th ed. Ed. D.D. Carr, Littleton, Colorado,: Soc. Mining, Metal. & Exploration, 631-642.
- Kunze, G. (1961) Antigorit. Strukturtheoretische Grundlagen und ihre praktische Bedeutung für die weiters Serpentin-Forschung, *Fortschr. Mineral.*, 39, 206-324.
- Larsen, E.S. (1942) Alkali rocks of Iron Hill, Gunnison County, Colorado. U. S. Geological Survey Professional paper 197a.
- Leake, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *American Mineralogist*, 63, 1023-1052.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M. C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G. (1997) Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. *Mineralogical Magazine*, 61, 295-321.
- Leake, B.E., Woolley, A., Birch, W.D., Burke, E.A.J., Ferraris, G., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kisch, H.J. Krivovichev, V.G., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W. (2004) Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. *American Mineralogist*, 89, 883-887
- Lee, J.H., Guggenheim S. (1981) Single crystal X-ray refinement of pyrophyllite-1Tc. *American Mineralogist*, 66, 350-357.
- Liebscher, A., Frantz, G. (2004) Epidotes. *Reviews in Mineralogy*, 56, Mineralogical Society of America, Washington Dc, 235-300.

- Lind, Th., Schmetzer, K., Bank, H. (1984) Schleifwürdige blaue und Grüne berylle (aquamarine und smaragde) aus Nigeria. Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft, 33, 128-138.
- Liou, J. G. (1973) Synthesis and Stability Relations of Epidote, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{FeSi}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$. J. Petrology, 14, 381-413.
- London, D. (1999) Stability of tourmaline in peraluminous Granite systems: the boron cycle from anatexis to hydrothermal Aureoles. European Journal of Mineralogy, 11, 253-262.
- Lumpkin, G. R., Ribbe, P.H. (1979) Chemistry and physical properties of axinites. Am. Mineral., 64, 635-645.
- Mackenzie, R.C. (1957b) Saponite from Allt Ribhein, Fiskavaig Bay, Skye. Min. Mag., v. 31, P.672.
- Mackenzie, R.C., Walker, G.F., Hart, R. (1949) Illite occurring in decomposed granite at Ballater, Aberdeenshire. Min. Mag., v. 28, P.704.
- Mackenzie, R.C. (1957) The thermal investigation of clays. Min. Soc. London.
- Malcherek, T., Domeneghetti, M. C., Tazzoli, V., Ottolini, L., Mccammon, C., Carpenter, M. A. (2001). Structural properties of ferromagnesian cordierites. American Mineralogist, 86, 66-79.
- McDonald, D.J., Hawthorne, F.C., Grice, J.D. (1993) Foitite, $[\text{Fe}^{2+}(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})]\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$, a new alkali-deficient tourmaline: description and crystal structure. American Mineralogist, 78, 1299-1303.
- Mesaed, A.A., Surour, A.A. (2000) Mineral chemistry and mechanism of Formation of the Bartonian glaucony of El-Gedida mine, El Bahriya Oases, Egypt. Egyptian Mineralogist, 12, 1-28.
- Michailidis, K.M. (1998) Tourmaline concentrations in meta-sedimentary rocks of the Efkarpia-Gerakario area in Macedonia, Northern Greece. Chemie Erde, 58, 80-97.
- Michailidis, K.M., Kassoli-Fournaraki, A. (1994) Tourmaline concentrations in migmatitic metasedimentary rocks of the Riziana

- and Kolchiko areas in Macedonia, northern Greece. *European Journal Mineralogy*, 6, 557-569.
- Miyashiro A., Seki, Y. (1958) Enlargement of the composition field of epidote and piemontite with rising temperature. *Am. J. Sci.* 256, 423-430.
- Miyashiro, A. (1957) Cordierite-indialite relations. *American Journal of Science*, 255, 43-62.
- Morgan, G.B., London, D. (1989) Experimental reactions of amphibolite with boron-bearing aqueous fluids at 200 Mpa: implications for tourmaline Stability and partial melting in mafic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 102, 218-297.
- Morosin, B. (1972) Structure and thermal expansion of beryl. *Acta Crystallographica*, 28, 1899-1903.
- Muhongo, S., Tuisku, P., Mtoni, Y. (1999) Pan-African pressure-temperature evolution of the Merelani area in the Mozambique Belt in northeast Tanzania. *Journal of African Earth Sciences* 29, 353-365.
- Murry, H.H. (1988) World kaolins-diverse quality needs permit different resource types. *Proc. 8th Ind. US. Minerals Int'l Congress. Metal bulletin*, London, 127-130.
- Murry, H.H. (1991) Kaolin minerals: Their genesis and occurrences. In *Hydrous Phyllosilicates (exclusive of mica)*. S.W. Baily ed. *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America. 19, 67-89.
- Nagashima, M. (2006) Hydrothermal syntheses of epidote and piemontite on the $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Mn}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ at relatively low pressures of 200-400 MPa. *Jour Mineralogical and Petrological Sciences*, 101, 1-9
- Nathieson, A.McL., Walker, G.F. (1954) Crystal structure of magnesium vermiculite. *Amer. Min.*, 39, P.231.
- Neder, R.B., Burghammer M., Grast T., Schulz H., Bram A., Fiedler G. (1999) Refinement of the kaolinite structure from single-crystal synchrotron data. *Clays and Clay Minerals*, 47, 487-494.

- Nesse, W. (2000) Introduction to mineralogy. Oxford University Press. 442p.
- Neto, M., Caby, R. (1999) Neoproterozoic high-pressure metamorphism and tectonic constraint from the nappe system south of the São Francisco Craton, southeast Brazil. *Precambrian Research* 97, 3-26
- Neumayr, P., Hoinkes, G., Puhl, A., Mogessie, A., Khudeir, A.A. (1998) The Meatiq Dome (Eastern Desert, Egypt) a Precambrian metamorphic core complex: Petrological and Geological evidence. *J. Metamorphic Geol.*, 16, 259-279.
- Nicholson, P.M. (1980) The geology and economic significance of the Golden Dyke dome, Northern Territory. In: Ferguson, J., Goleby, A.B. (Eds.), *Uranium in the Pine Creek Geosyncline*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 319-334.
- Nolan, J. (1969) Physical properties of synthetic and natural pyroxenes in the system diopside-acmite. *Mineralogical Magazine* 37, 216-229.
- Novozhilov, A.I., Voskresenskaya, I.E., Samoilovich, M.I. (1969) Electron paramagnetic resonance study of tourmalines. *Soviet Physics-Crystallography*, 14, 416-418.
- Nureki, T. (1967) Finding of axinite-schist in the Sangun metamorphic zone at Mitake, Yamaguchi Prefecture, southwest Japan. *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 5, 241-253.
- O'Driscoll, M. (1983) South Korea's minerals industry-imports prove seoul-destroying, *Ind. Minerals* (February).18-37.
- Ozaki, M. (1969) Notes on the chemical composition of axinite. *Sci. Rep. Fac. Sci. Kyushu Univ., Geol.*, 9, 129-142.
- Ozaki, M. (1970) The chemical variation of axinite in reference to their modes of occurrence. *J. Jap. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, 64, 157-172.
- Ozaki, M. (1972) Chemical composition and occurrence of axinite. *Kumamoto J. Sci., Geol.*, 9, 1-34.

- Pandit M.K., Carter L.M., Ashwal L.D., Tucker R.D., Torsvik T.H., Jamtveit B., Bhushan S.K. (2003) Age, petrogenesis and significance of 1 Ga granitoids and related rocks from the Sendra area, Aravalli Craton, NW India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22, 363–381.
- Pankrath, R., Langer, K. (2002) Molecular water in beryl, $\text{VAl}_2[\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}]\cdot n\text{H}_2\text{O}$, as a function of pressure and temperature: An experimental study. *American Mineralogist*, 87, 238–244.
- Pawley, A. R., Holloway, J. R. (1993) Water sources for subduction zone volcanism: New experimental constraints: *Science*, 260, 664–667.
- Pe-Piper, G. (2000) mode of occurrence, chemical variation and genesis of mordenite and associated zeolites from the Morden area, Nova Scotia, Canada. *The Canadian Mineralogist*, 38, 1215–1232.
- Pepper, O. (2001) Muscovite. www.galleries.com.
- Perkins, D. (2002) *Mineralogy*. Second Edition, Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 483p.
- Pieczka, A., Kraczka, J. (1994) X-ray and Mo'ssbauer investigations of tourmalines from Tatra Mts. *Mineralogia Polonica*, 25, 63–72.
- Poli, S., Schmidt, M. W. (1995) H_2O transport and release in subduction zones: Experimental constraints on basaltic and andesitic systems: *J. Geophys. Res.*, 100, B11, 22,299–22,314.
- Prasad, M.S., Reid, K.J., Murray, H.H. (1991) Kaolin: processing, properties and applications. *Appl. Clay Sci.* 6, 87–119.
- Proctor, K. (1984) Gem pegmatites of Minas Gerais, Brazil: Exploration, Occurrence, and aquamarine deposits. *Gems & Gemology*, 20, 78–100.
- Putnis, A. (1980a) The distortion index in anhydrous Mg-cordierite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 74, 135–141.
- Putnis, A., McConnell, J. D.C. (1980) *Principles of Mineral Behaviour*. Blackwell Scientific Publications, 258p.

- Ragab, A.I., Meneisy M.Y., Taher, R.M. (1978) Contribution to the petrogenesis and age of Aswan granitic rocks, Egypt. N. jb. Miner. Abh., 133, 1, 71-87.
- Raith, J. G., Riemer, N., Schöner, N., Meisel, T. (2004) Boron metasomatism and behaviour of rare earth elements during formation of tourmaline rocks in the eastern Arunta Inlier, central Australia. *Contrib Mineral Petrol* 47: 91–109.
- Richardson, S.W. (1966) Staurolite Stability in a Part of the System Fe-Al-Si-O-H. *J. Petrology*. 1968; 9: 467-488
- Rodriguez, C. (2000) The petrology and geochemistry of diverse crustal xenoliths, Tatara-San Pedro Volcanic Complex, Chilean Andes. Ph.D. Thèse Genève Faculté de Science, Université de Genève. Genève.
- Roe, L.A. (1983) Talc and pyrophyllite. In *Industrial Minerals and Rocks*. Soc. Min. Eng., AIME, 5th ed., New York, 1140-1147.
- Rosenberg, P.E., Foit, F.F.Jr. (1975) Alkali-free tourmalines in the system MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃-H₂O (abstr.) *Geol. Soc. Am. Ann. Meeting Abstr. Progr.*, 1250-1251.
- Rosenberg, P.E., Foit, F.F. (1979) Synthesis and characterization of alkali-free Tourmaline. *American Mineralogist*, 64, 180–186
- Ross, C.S., Hendricks, S.B. (1945) Minerals of the montmorillonite group. U. S. Geol. Surv., Prof. paper 205B.
- Ross, M. (1981) The geologic occurrences and health hazards of amphibole and serpentine asbestos. In D.R. Veblen, Ed. *Amphiboles and other hydrous pyriboles*. Mineralogy, Rev. Mineral. 9A, 279-323.
- Rost, R. (1944) Contribution to the knowledge of clay minerals. *Rozpravy České Akad.*, 54, 15 (M.A. 10-22).
- Rubin, J.N., Henry, C.D., Price, J.G. (1989) Hydrothermal zircons and zircon overgrowths, Sierra Blanca Peaks, Texas. *American Mineralogist*, 74, 865-869.

- Rudolph, S. (2004) Büro für angewandte Mineralogie· D-47918 Tönisvorst
- Sabine, P.A. (1950) The optical properties and composition of the acmitic pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 29, 113-125.
- Sadran, G., Millot G., Bonifas, M. (1955) The origin of bentonite deposits at Lalla Maghnia (Oran). *Ser. Carte geol., Algeria, Bull. No. 5*, 213-234.
- Sanero, E., Gottardi, G. (1968) Nomenclature and crystal chemistry of faxinites. *Am. Mineral.*, 53, 1407-1411.
- Sauer, D.A. (1982) Emeralds from Brazil. *International Gemological Symposium, Proceedings*, 357-377.
- Sawka, W.N., Chappell, B.W., Norrish, K. (1984) Light-rare-earth element zoning in sphene and allanite during granitoid fractionation. *Geology*, 12, 131-134.
- Schmetzer, K., Bank, H. (1984) Crystal chemistry of tsilaisite (manganese tourmaline) from Zambia. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 61-69.
- Schmidt, M. W., and Poli, S. (1998) Experimentally based water budgets for dehydrating slabs and consequences for arc magma generation. *Earth Planet.Sci.Let.*, 163, 361-379.
- Schmidt, M.W., Thompson, A.B. (1996) Epidote in calc-alkaline magmas: An experimental study of stability, phase relationships, and the role of epidote in magmatic evolution. *American Mineralogist*, 81, 462-474.
- Schreier, H. (1989) *Asbestos in the natural environment*. Elsevier, New York, 159p.
- Schreyer, W. (1985) Experimental studies on cation substitutions and fluid incorporation In cordierite. *Bulletin de Minéralogie*, 108, 273-291.
- Schreyer, W., Chinner, G.A. (1966) Staurolite- Quartzite Bands in Kyanite Quartzite at Big Rock, Rio Arriba County, New Mexico. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 12, 223-244.

- Schreyer, W., Schairer, J.F. (1961) Compositions and structural states of anhydrous Mg-cordierites: a reinvestigation of the central part of the system $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. *Journal of Petrology*, 2, 324–406.
- Sepahi, A., Whitney, D.L., Baharifar, A.A. (2004) Petrogenesis of andalusite-kyanite-sillimanite veins and host rocks, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Hamadan, Iran. *Journal of Metamorphic Geology*, 22, 119-134.
- Serdyuchenko, D.P. (1980) Different positions of boron in tourmaline lattices. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR, Earth Sciences Sections*, 254, 177–179.
- Shigley, J.E., Foord, E.E. (1985) Gem-quality red beryl from the Wah Wah Mts., Utah. *Gem & Gemology*, 4, 208-221.
- Sinkankas, J. (1981) Emerald and other beryls. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, U.S.A., 665 pp.
- Slack, J.F. (1996) Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. *Reviews of Mineralogy*, 33, 559–643.
- Slack, J.F., Herriman, N., Barnes, R.G., Plimer, I.R. (1984) Stratiform tourmalinites in metamorphic terranes and their geologic significance. *Geology*, 12, 713-716.
- Slack, J.F., Ramsden, A.R., Griffen, W.L., Win, T.T., French, D.H., Ryan, C.G. (1999) Trace elements in tourmaline from the Kidd Creek massive sulfide deposit and vicinity, Timmins, Ontario: a proton microprobe study. *Economic Geology Monograph*, 10, 415–430.
- Smith, J.R. (1958) The optical properties of heated plagioclase. *American Mineralogist*, 43, 1179-1194.
- Snäll, S., Liljefors, T. (2000) Leachability of major elements from minerals in strong acids. *Journal of Geochemical Exploration*, 71, 1–12.
- Speer, J.A. (1982) Zircon. *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, 5, 67-112.

- Spiegel C., Siebel W., Frisch W., Berner Z. (2002) Nd and Sr isotopic ratios and trace element geochemistry of epidote from the Swiss Molasse Basin as provenance indicators: implications for the reconstruction of the exhumation history of the Central Alps. *Chemical Geology*, 189, 231–250
- Sugiura, K. (1959) The water problem of cordierite. *Bull. Tokyo Inst. Tech., Ser. B. I*, 1-26.
- Surour, A.A., El-Kammar, A.A., Arafa, E.H., Korany, H.M. (2003) Dahab stream sediments, southeastern Sinai, Egypt: a potential source of gold, magnetite and zircon. *Journal of Geochemical Exploration* 77, 25–43.
- Takashima, Y., Ohashi, S. (1968) The Mössbauer spectra of various natural minerals. *Bulletin Chemical Society of Japan*, 88–93.
- Tanner, Jr. J.T. (1994) Mica. In *Industrial minerals and rocks*. 6th ed. Ed. D.D.S. Carr, 693-710, Soc. Mining, Metal. & Exploration. Littleton, Colorado
- Taylor, A.M., Terrell, B.C. (1967) Synthetic tourmalines containing elements of The first transition series. *Journal of Crystal Growth*, 1, 238–244.
- Taylor, M.C., Cooper, M.A., Hawthorne, F.C. (1995) Local charge-compensation In hydroxyl-deficient uvite. *Canadian Mineralogist*, 33, 1215–1221.
- Taylor, S.K. (1964) The abundance of chemical elements in the continental crust—a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 1273–1285.
- Thomas, M. (2004) Boron metasomatism and behaviour of rare earth elements during formation of tourmaline rocks in the eastern Arunta Inlier, central Australia. *Contrib Mineral Petrol.*, 147, 91–109.
- Tilley, C.E. (1938) The status of hornblende in low-grade metamorphic zones of green schists. *Geol. Mag.*, 75, P.497.

- Tobi, A.C., Kroll, H. (1975) Optical determination of the An-content of plagioclases twinned by the Carlsbad-law: A revised chart. *American Journal of Science*, 275, 731-736.
- Todor, D.N. (1976) Thermal analysis of minerals. Abacus Press, England, 256p.
- Tourn, S.M., Herrmann, C.J., Ametrano, S., De Brodtkorb M.K. (2004) Tourmalinites from the Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 24, 229-240.
- Tribuzio, R., Messig, B., Vannucc, R., Bottazzi, P. (1996) Rare earth element redistribution during high-pressure low-temperature metamorphism in ophiolitic Fe-gabbros (Liguria, northwestern Italy): implications for light REE mobility in subduction zones. *Geology*, 24, 711 -714.
- Ullrich, B., Raab, S. (1993) Untersuchungen zum plastisch-mechanischen Verhalten von ausgewählten schichtsilikaten und schichtsilikatgesteinen. *Chemie der erde*, 53, 79-91.
- Vance, E.R., Price, D.C. (1984) Heating and radiation effects on optical and Mössbauer spectra of Fe-bearing cordierites. *Physics and Chemistry of Minerals*, 10, 200-208
- Veblen, D.R., Wylie, A.G. (1993) Mineralogy of amphiboles and 1:1 layer silicates. In *Health effects of mineral dusts*. Eds G.D. Guthrie, Jr., and B.T. Mossman, *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, 28, 61-137.
- Venkatasetty, H. (1984) Primary lithium batteries. In *Lithium battery technology*. Ed. H.V. Venkatasetty, 61-78, New York. John Wiley & sons.
- White, R.E. (1987) Introduction to the principles and practice of soil science. Blackwell Scientific Publ. Inc.
- Whitney, D. L. (2002) Coexisting andalusite, kyanite, and sillimanite: Sequential formation of three Al_2SiO_5 polymorphs during progressive metamorphism near the triple point, Sivrihisar, Turkey. *American Mineralogist*, 87, 405-416.

- Whitney, D.L., Ghent, E.D. (1993) Prograde reactions and garnet zoning reversals in staurolite schist, British Columbia: implications for thermobarometric interpretations. *Journal of Metamorphic Geology*, 11, 779-788.
- Winchell, A.N. (1938) The anthophyllite and cummingtonite-grunerite series. *American Mineralogist*, 23, 329-333.
- Winchell, A.N. (1945) Variations in composition and optical properties of the calciferous amphiboles. *American Mineralogist* 28, 27-50.
- Winter J.D. (2001) An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice Hall.
- Wood, D.L., Nassau, K. (1967) Infrared spectra of foreign molecules in beryl. *Journal of Chemical Physics*, 47, 2220-2228.
- Wood, D.L., Nassau, K. (1968) The characterization of beryl and emerald by visible and infrared spectroscopy. *American Mineralogist*, 55, 727-734.
- Wood, S. A., Ricketts, A. (2000) Allanite-(Ce) from the Eocene Casto granite, Idaho: response to hydrothermal alteration. *Canadian Mineralogist*, 38, 81-100.
- Yada, K. (1971) Study of microstructure of crysotile asbestos by high resolution electron microscope. *Acta Cryst.*, A27, 659-664.
- Yokoyama, K. (1957) *Sci. Rep. Tohoka univ.*, 3rd ser., 5, 373
- Zaremba, T. (1995) Thermal transformations of synthetic pyrophyllite *Geologica Carpathica Clays*, 4, 2, 67-72
- Zaw, W.K., Enami, M.; Aoya, M. (2005) Chloritoid and barroisite-bearing pelitic schists from the eclogite unit in the Besshi district, Sanbagawa metamorphic belt. *Lithos*, 81 , 79- 100
- Zhao, G.C., Cawood, P.A., Wilde, S.A. (2000) Metamorphism of basement rocks in the central zone of the North China Craton: implications for Paleoproterozoic tectonic evolution, *Precambrian Res.* 103, 55-88.

Zheng, Z.D.Lu, Feng, M., Feng B., Jin T. (1982) Kaolin deposits of China. Int'l Clay Conf. 1981, H. Van Olphen and F. Veniale, ed., Dev. In Sedimentology 35, Elsevier, Amsterdam, 719-731.

Suggested Internet Websites

<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Montmorillonite-en.svg>

<http://ocw.mit.edu/ans7870/12/12.108/f04/imagegallery/lab3/lab3-11.html>

<http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/clinozoisite.pdf>

<http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/pyrophyllite.pdf>

<http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/vesuvianite.pdf>

<http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/hom/zoisite.pdf>

<http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/minerals.html>

[http://webmineral.com/data/Allanite-\(La\).shtml](http://webmineral.com/data/Allanite-(La).shtml)

[http://webmineral.com/data/Allanite-\(Y\).shtml](http://webmineral.com/data/Allanite-(Y).shtml)

<http://webmineral.com/data/Allanite.shtml>

<http://webmineral.com/data/Clinozoisite.shtml>

<http://webmineral.com/data/Epidote.shtml>

<http://webmineral.com/data/Piemontite.shtml>

<http://webmineral.com/data/Zoisite.shtml>

<http://webmineral.com/specimens/picshow.php>

<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=247>

<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2764>

<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=2847>

<http://www.candldevelopment.com/application.htm>

<http://www.cst.cmich.edu/users/dietr1rv/vesuvianite.htm>

http://www.delminsociety.net/motm/motm_dec2005.htm

<http://www.esc.cam.ac.uk/~rjh40/teaching.html>

<http://www.eytonsearth.org/clay-chemistry.php>

<http://www.galleries.com>

<http://www.irocks.com/tucson05a.html>

http://www.jegem.com/1/singleProduct.aspx?SKU=AJR206890&r=redirected_from_AS

<http://www.johnbetts-fineminerals.com>

<http://www.marinmineral.com/africa1.html>

<http://www.maurice.strahlen.org/minerals/aegirine.html>

<http://www.minedirect.com/FacetCabRough/Diopside.html>

<http://www.mineralnews.com>

<http://www.minsocam.org/msa/handbook>

<http://www.sgs.org.sa/index.cfm> Geological Survey of Saudi Arabia.

<http://www.soils.wisc.edu/courses/SS325/vermiculite.gif>

<http://www.soton.ac.uk/~imw/jpg/2WLondon-glauc.jpg>

<http://www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cleavage.htm>

<http://www.und.nodak.edu/.../opticalmin/cpx.htm>

http://www.wildaboutrocks.com/category33_1.htm

دليل المعادن

١٤١-١٢٧	بيريل	٧٨-٦١	ايبيدوت
١٩٨-١٩٦	بيكتوليت	٣٦٤-٣٦١	ارثوكليز
٢٦٩-٢٦٥	بيوتيت	٢٢٥-٢٢٢	اكتينوليت
٣٣٤-٣٣٠	تريديميت	١٥٨-١٥١	اكسينيت
٢٢٢-٢١٨	تريموليت	٩٢-٨٤	الانيت
٢٤٧-٢٤٠	تلك	١٠١-٩٧	الفيت
١٢٧-١٠٤	تورمالين	٣٠٦-٣٠٢	إليت
٦٠-٥٦	تيتانيت (سفين)	٢١٠-١٩٨	أمفيبول
٢٩-٢٢	جارت	٣٨٨-٣٨٧	أنالسيم
٢٢٨-٢٢٥	جلوكوفان	٢١٤-٢١١	أنثوفيليت
٢٦٢-٢٥٩	جلوكونيت	٣٦-٣٢	أندلوسيت
١٨٣-١٨٠	ديوبسيد	١٧٨-١٧٥	إنستاتيت
١٩٦-١٩٣	رودونيت	١٨٩-١٨٦	أوجيت
٤٧-٤١	زركون	١٨٦-١٨٣	إيجيرين
٨٣-٧٩	زوسيت	٣٦١-٣٥٣	بلاجيوكليز
٣٩١-٣٨١	زيوليت	١٨٠-١٧٨	بيجونيت
٣٧٠-٣٦٧	سانيدين	٢٥١-٢٤٧	بيروفيليت
٥١-٤٧	ستوروليت	١٧٥-١٥٩	بيروكسين
٣٨٩-٣٨٨	ستيلايت	١٩٠-١٨٩	بيروكسينويد

٢٧٤-٢٦٩	ليبيدوليت	٢٩٢-٢٨٦	سرينتتين
٢٦٥-٢٦٢	مارجريت	٤١-٣٩	سيليمنيت
٢٥٩-٢٥٥	مسكوفيت	٣٨٧	شاپازيت
٣١٤-٣٠٦	مونتموريلونيت	٣٨١-٣٧٩	صوداليت
٣٦٧-٣٦٤	ميكروكلين	٣٧٢-٣٧٠	فلسباتويد
٣٨٧-٣٨٦	ناتروليت	٣٥٢-٣٣٦	فلسبار
٣٧٦-٣٧٢	نيفيلين	٢٧٨-٢٧٤	فلوجوبيت
٢٣٣-٢٢٨	هورنبلند	٢٢-١٥	فورستريت
٣٨٩	هيولانديت	٢٢-١٥	فياليت
١٩٣-١٩٠	ولاستونيت	٣١٩-٣١٤	فيرميكيوليت
		٩٧-٩٢	فيزيوفيانيت
		٣٠٢-٢٩٣	كاولينيت
		٣٣٦-٣٣٤	كريستوباليت
		٢٨٦-٢٧٩	كلوريت
		٥٦-٥١	كلوريتويد
		٢١٧-٢١٤	كمينجتونيت
		٣٣٠-٣٢٤	كوارتز
		١٥١-١٤١	كورديريت
		٣٨-٣٦	كيانيت
		٣٩٠	لاومونتيت
		٣٧٩-٣٧٦	لوسيت

قائمة اختصارات المعادن (عن كريتز ١٩٨٣ Kretz)

Ab	albite	البيت	Cen	Clinoenstatite	كلينو انستاتيت
					(انستاتيت مائل)
Acm	acmite	أكميت	Cfs	clinoferrosilite	كلينوفروسيليت
					(فروسيليت مائل)
Act	actinolite	أكتينوليت	Chl	chlorite	كلوريت
Adr	andradite	أندراديت	Chn	chondrodite	كوندرو ديت
Agt	aegirine-augite	إيجيرين أوجيت	Chr	chromite	كروميت
Ak	akermanite	أكرمانيت	Chu	clinohumite	كلينو هوميت
Alm	almandine	ألماندين	Cld	chloritoid	كلوريتويد
Aln	allanite	ألانيت	Cls	celestite	سيلستيت
Als	aluminosilicate	ألومينوسليكات	Cp	carpholite	كارفوليت
Am	amphibole	أمفيبول	Cpx	clinopyroxene	بيروكسين مائل
An	anorthite	أنورثيت	Crd	cordierite	كورديريت
And	andalusite	أندلوسيت	Crn	carnegieite	كارنيجيت
Anh	anhydrite	أنهيدريت	Crn	corundum	كوراندوم
Ank	ankerite	أنكريت	Crs	cristoballite	كريستوباليت
Anl	analcite	أنالسيت	Cs	coesite	كوزيت
Ann	annite	أنيت	Cst	cassiterite	كاسيتريت
Ant	anatase	أناتاس	Ctl	chrysotile	كريبزوتيل
Ap	apatite	أباتيت	Cum	cummingtonite	كومنجتونيت
Apo	apophyllite	أبوفيليت	Cv	covellite	كوفيليت
Apy	arsenopyrite	أرسينوبيريت	Czo	clinozoisite	كلينوزوسيت
Arf	arfvedsonite	أرفيدسونيت	Dg	diginite	ديجنيت
Arg	aragonite	أراجونيت	Di	diopside	ديوبسيد
A	antigorite	أنتيجوريت	Dia	diamond	ألماس
Ath	anthophyllite	أنثوفيليت	Dol	dolomite	دولوميت
Aug	augite	أوجيت	Drv	dravite	درافيت
Ax	axinite	أكزينيت	Dsp	diaspore	دياسبور
Bhm	boehmite	بوهميت	Eck	eckermannite	إكرمانيت
Bn	bornite	بورنيت	Ed	edenite	إدينيت
Brc	brucite	بروسيت	Elb	elbaite	إلبايت
Brk	brookite	بروكيت	En	Enstatite (ortho)	إنستاتيت (المعيني)
Brl	beryl	بيريل	Ep	epidote	إبيدوت
Brt	barite	باريت	Fa	fayalite	فياليت
Bst	bustamite	بوستاميت	Fac	ferroactinolite	أكتينوليت حديدي
Bt	biotite	بيوتيت	Fcp	ferrocarpholite	كارفوليت حديدي
Cal	calcite	كالسيت	Fed	ferroedenite	إدينيت حديدي
Cam	Ca-clinoamphibole	أمفيبول مائل حامل للكالسيوم	Flt	fluorite	فلوريت
Cbz	chabazite	شابازيت	Fo	forsterite	فورستيريت
Cc	chalcocite	كالكوسيت	Fpa	ferropargasite	بارجازيت حديدي
Ccl	chrysocolla	كريبزوكولا	Fs	ferrosilite (ortho)	فروزيليت (المعيني)
Ccn	cancrinite	كانكرينيت	Fst	fassite	فازيت

Fts	Ferro- tschermakite	شيرماكيت حديدى	Lz	lizardite	ليزارديت
Gbs	gibbsite	جيبسيت	Mag	magnetite	ماجنتيت
Ged	gedrite	جيدريت	Mcp	Magnesio- carpholite	كارفوليت غنى بالماغنسيوم
Gh	gehlenite	جيلينيت	Mel	melilite	ميليت
Gln	glaucophane	جلوكوفان	Mgh	maghemite	ماجهيميت
Glt	glaucosite	جلوكونيت	Mgs	magnesite	ماجنيزيت
Gn	galena	جالينا	Mkt	Magnesio- katophorite	كاتوفوريت غنى بالماغنسيوم
Gp	gypsum	جبس	Mnt	montmorillonite	مونتموريلونيت
Gr	graphite	جرافيت	Mnz	monazite	موناازيت
Grs	grossular	جروسلار	Mo	molybdenite	موليبدونيت
Grt	garnet	جارنت	Mrb	Magnesio- riebeckite	ريببكتيت غنى بالماغنسيوم
Gru	grunerite	جرونريت	Mrg	margarite	مارجاريت
Gt	goethite	جوتيت	Ms	muscovite	مسكوفيت
Hbl	hornblende	هورنبلند	Mtc	monticellite	مونتيسليت
Hc	hercynite	هيرسينيت	Mul	mullite	موليت
Hd	hedenbergite	هيدنبيرجيت	Ne	nepheline	نيفيلين
Hem	hematite	هيماتيت	Nrb	norbergite	نوربيرجيت
Hi	halite	هاليت	Nsn	nosean	نوسيان
Hs	hastingsite	هاستجزيت	Ntr	natrolite	ناثروليت
Hu	humite	هيوميت	Oam	orthoamphibole	امفيبول معينى
Hul	heulandite	هولانديت	Ol	olivine	اوليفين
Hyn	hayne	هاوين	Omp	omphacite	أومفاسيت
Ill	illite	إليت	Opx	orthopyroxene	بيروكسين معينى
Ilm	ilmenite	إلمينيت	Or	orthoclase	أرثوكليز
Jd	jadeite	جاديت	Osm	osumilite	أوسميليت
Jh	johannsenite	جوهانسينيت	Pct	pectolite	بيكتوليت
Kfs	K-feldspar	فلسبار	Pen	protonstatite	بروتونستاتيت
Kln	kaolinite	كاولينيت	Per	periclase	بيريكليز
Kls	kalsilite	كالسيليت	Pg	paragonite	باراجونيت
Krn	kornepine	كورنيروبين	Pgt	pigeonite	بجيونيت
Krs	kaersutite	كارسوتيت	Phe	phengite	فنجيت
Ktp	kataphorite	كاتافوريت	Phl	phlogopite	فلوجوبيت
Ky	kyanite	كيانيت	Pl	plagioclase	بلاجيوكليز
Lct	leucite	لوسيت	Pmp	pumpellyite	بمبليت
Lm	limonite	ليمونيت	Pn	pentlandite	بنتالانديت
Lmt	laumontite	لاومونيت	Po	pyrrhotite	بيروتيت
Lo	loellingite	لولانجيت	Prg	pargasite	بارجاسيت
Lpd	lepidolite	ليبدوليت	Prh	prehnite	بريهنيت
Lws	lawsonite	لاوسونيت	Prl	pyrophyllite	بيروفيليت

Prp	pyrope	بيروب	Stb	stilbite	ستيلايت
Prv	perovskite	بيروفسكايت	Stp	stilpnomelane	ستيلاينوميلان
Py	pyrite	بيريت	Str	strontianite	سترونشيانيت
Qtz	quartz	كوارتز	Sud	sudoite	سودويت
Rbk	riebeckite	ريبكايت	Tlc	talc	تلك
Rdn	rhodonite	رودونيت	Tmp	thompsonite	ثومبسونيت
Rds	rhodochrosite	رودوكروزييت	Toz	topaz	توباز
Rt	rutile	روتيل	Tr	tremolite	تريموليت
Sa	sanidine	سانيدين	Trd	tridymite	تريديميت
Scp	scapolite	سكابوليت	Tro	troilite	ترواليت
Sd	siderite	سيدريت	Ts	tschermakite	تشيرماكيت
Sdl	sodalite	صوداليت	Ttn	titanite	تيتانيت
Ser	sericite	سيريسيت	Tur	tourmaline	تورمالين
Sil	sillimanite	سيليمانيت	Usp	ulvöspinel	اولفوسبينيل
Sp	sphalerite	سفاليريت	Ves	vesuvianite	فيزيوفيانيت
Spd	spodumene	سبوديومين	Vrm	vermiculite	فيرميكيوليت
Spl	spinel	سبينيل	Wa	wairakite	ويراكايت
Spr	sapphirine	سافيرين	Wo	wollastonite	ولاستونيت
Sps	spessartine	سبيسارتين	Wth	witherite	وثيريت
Srl	schorl	سكورل	Wus	wüstite	فوستيت
Srp	serpentine	سربنتين	Zo	zoisite	زيوسيت
St	staurolite	ستوروليت	Zrn	zircon	زركون

Preface

Almighty to make this book a good reference supporting the exploration for economic minerals in the Arab world.

The first chapter contains the definition of Mineralogy and chemical classification of minerals in an easy way to follow the other chapters. The remaining six chapters deal with different types of silicate mineral groups: Nesosilicates, Sorosilicates, Cyclosilicates, Inosilicates, Phyllosilicates and Framework Silicates. Each chapter deals with a mineral group with respect to name of the mineral, chemical formula, crystal structure, mineral chemistry, physical and optical properties, occurrences, mineral associations and uses.

Hamdy H. Abd El-Naby

March, 2008

Isam Y. Al Filali

Yehia H. Dawood

PREFACE

The idea to publish this book has been started several years ago. The main motive for this publication is the deficiency of such kind of books in the Arabic library. The vast majority of the Arabic books in this area focus only on providing knowledge of the basics of mineralogy without delve into details of the various mineral groups such as silicates, carbonates, sulfates,....etc. The silicate minerals group is of a particular importance, where it forms about 90% of the mineral components of the earth's crust. Also, these minerals have a prominent role as raw materials in many industries. In addition, the recent studies, literatures and modern information technology are other important motives that enrich our information and make it quite deserved to be in a book in Arabic language. We expect this would meet with the vast need of Arabic students and personnel in the fields of earth sciences and mineral prospecting.

We have taken into account during editing this book, to be understandable, put ideas in sequence and used many colored images and three-dimensional illustrations to help student and researcher to understand the silicate mineral groups. This would make this book a useful reference for those interested in this field in the Arab countries. We maintained the English terms beside the Arabic ones, so that the student could refer to the English books at any time. We call on God

Modern Commercial Press

22, Idress Ragheb St., - El Daher -Ramsis

Tel.: 2590 33 64 - 2590 23 67 , Fax : 2590 23 68-cairo

Email : esamragab28@gmail.com

Mineralogy

Volume II

Silicate Minerals

Hamdy H. Abd El-Naby

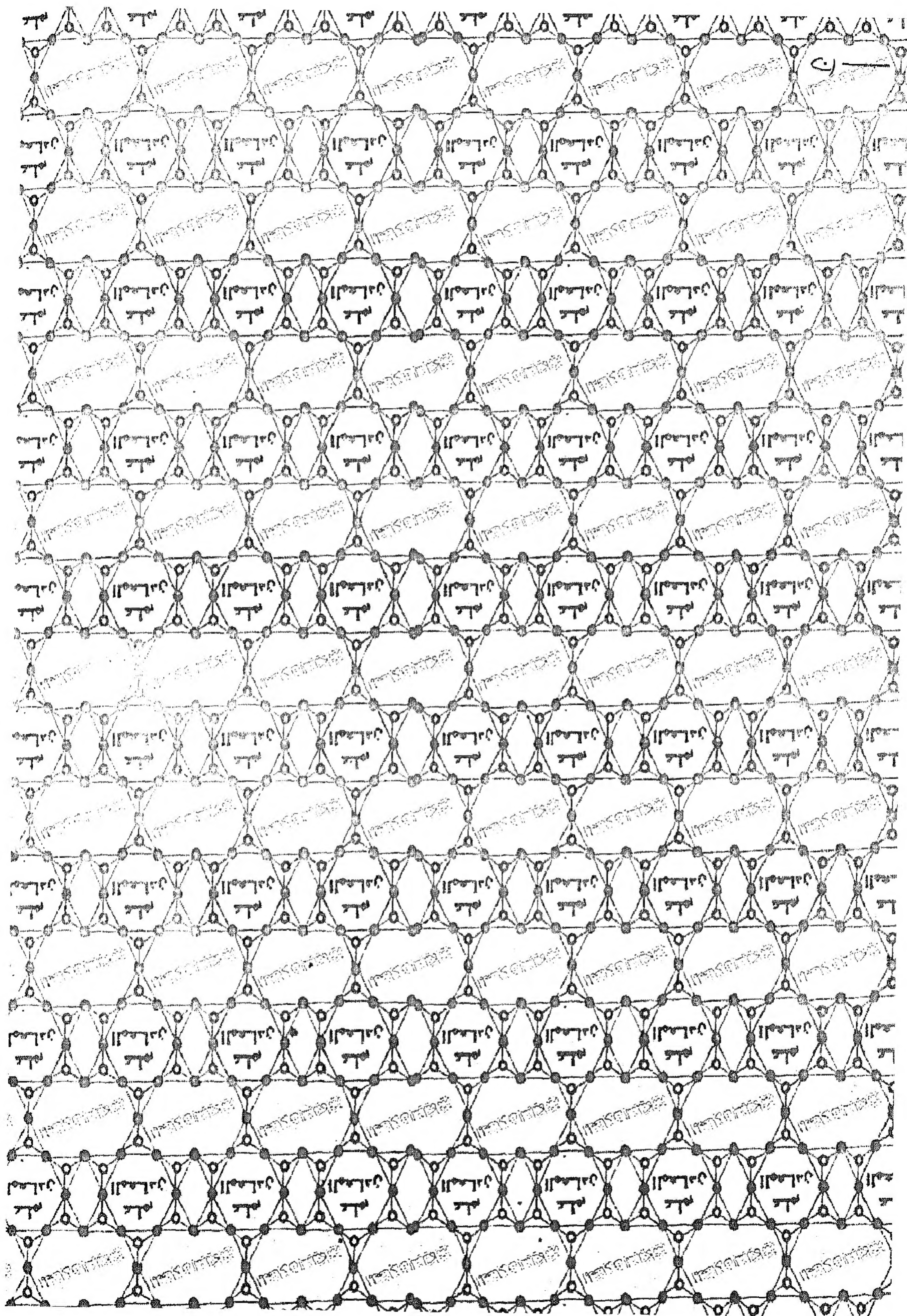
*Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University*

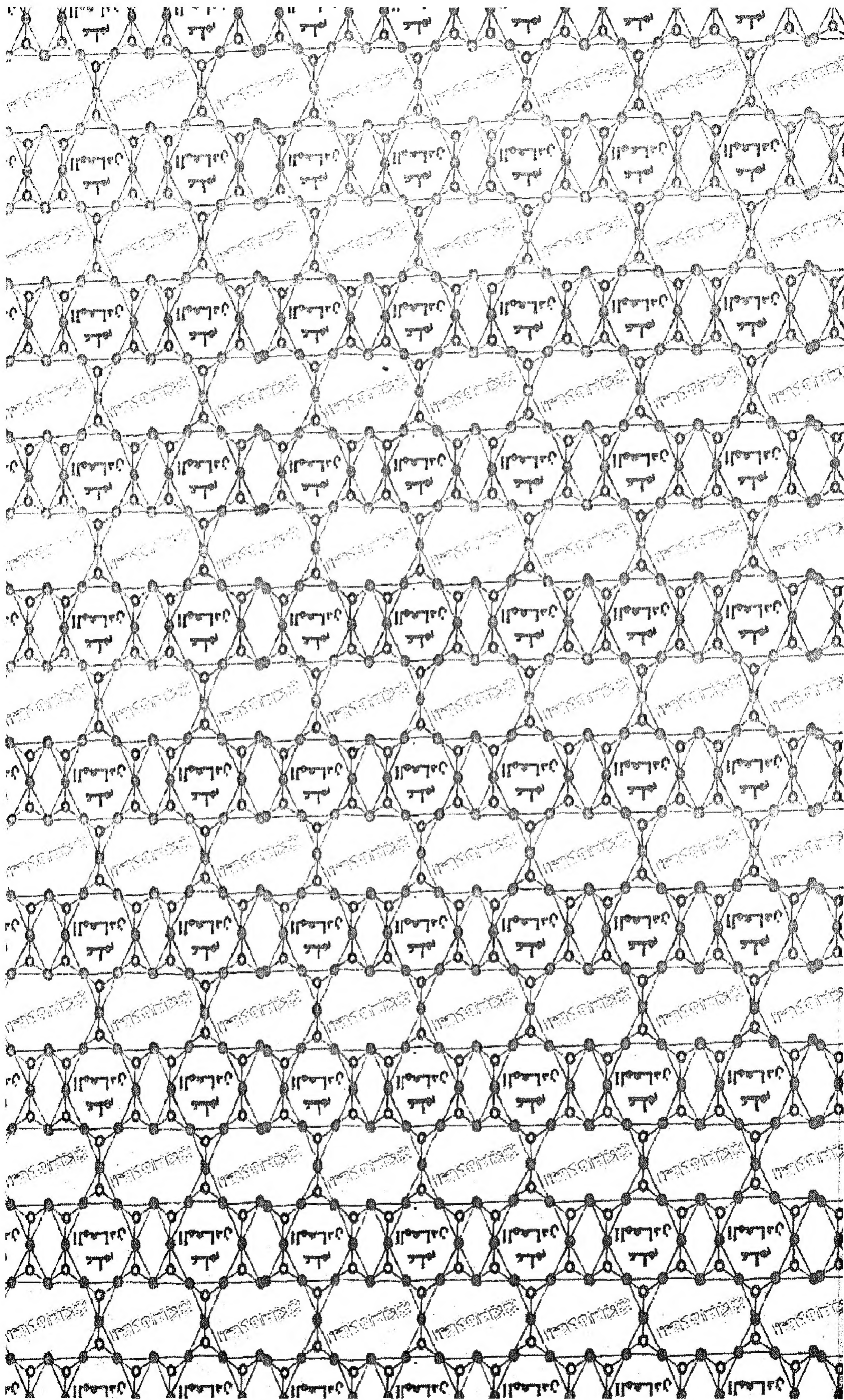
Isam Y. Al Filali

*Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University*

Yehia H. Dawood

*Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University*

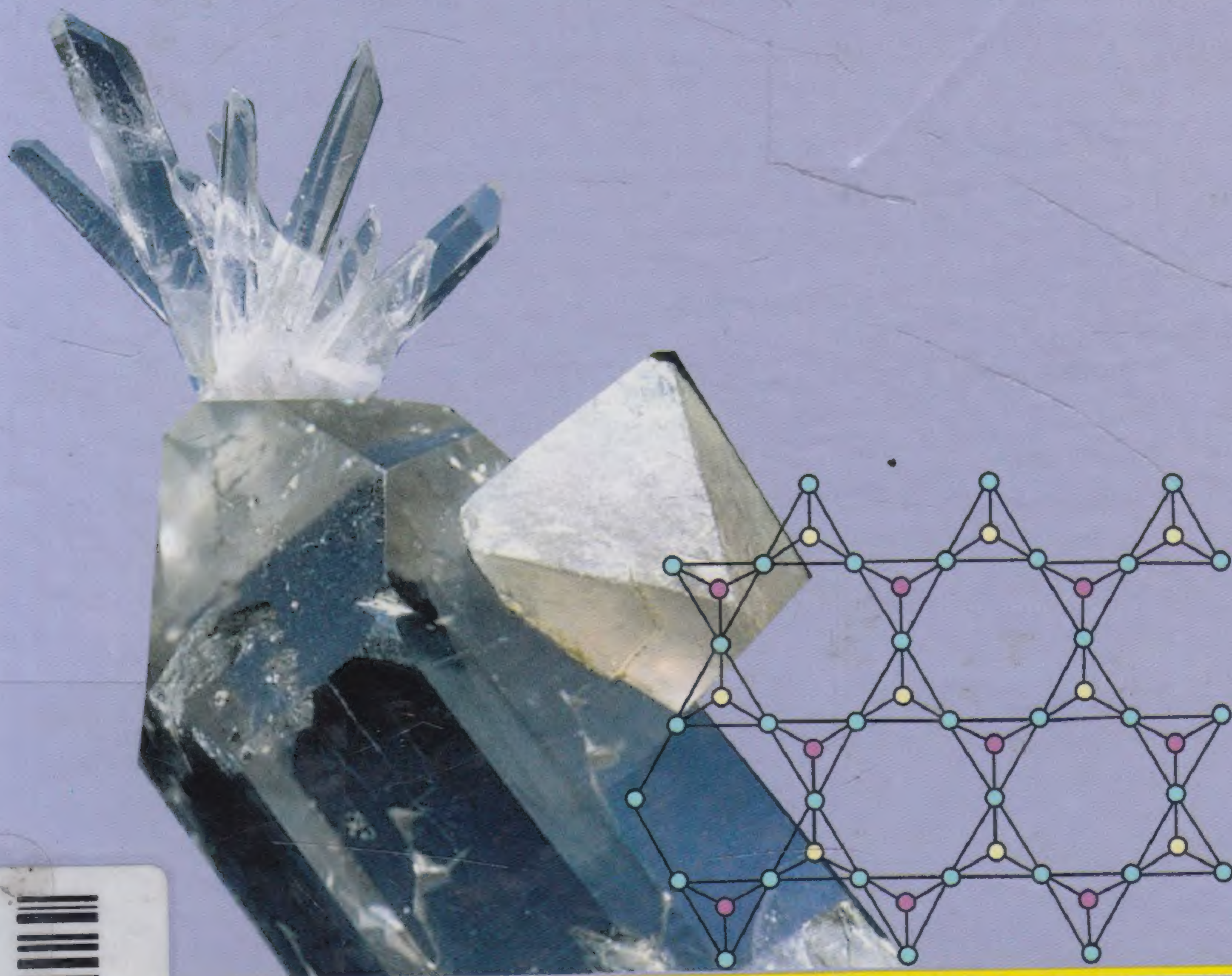




Mineralogy

Volume II

Silicate Minerals



Bibliotheca Alexandrina



0664996



Yehia H. Abd El-Naby
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

Isam Y. Al Filali
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

Yehia H. Dawood
Faculty of Earth Sciences
King Abdulaziz University

ISBN 977-05-2565-0



9

7 8 9 7 7 0 5 2 5 6 5 4